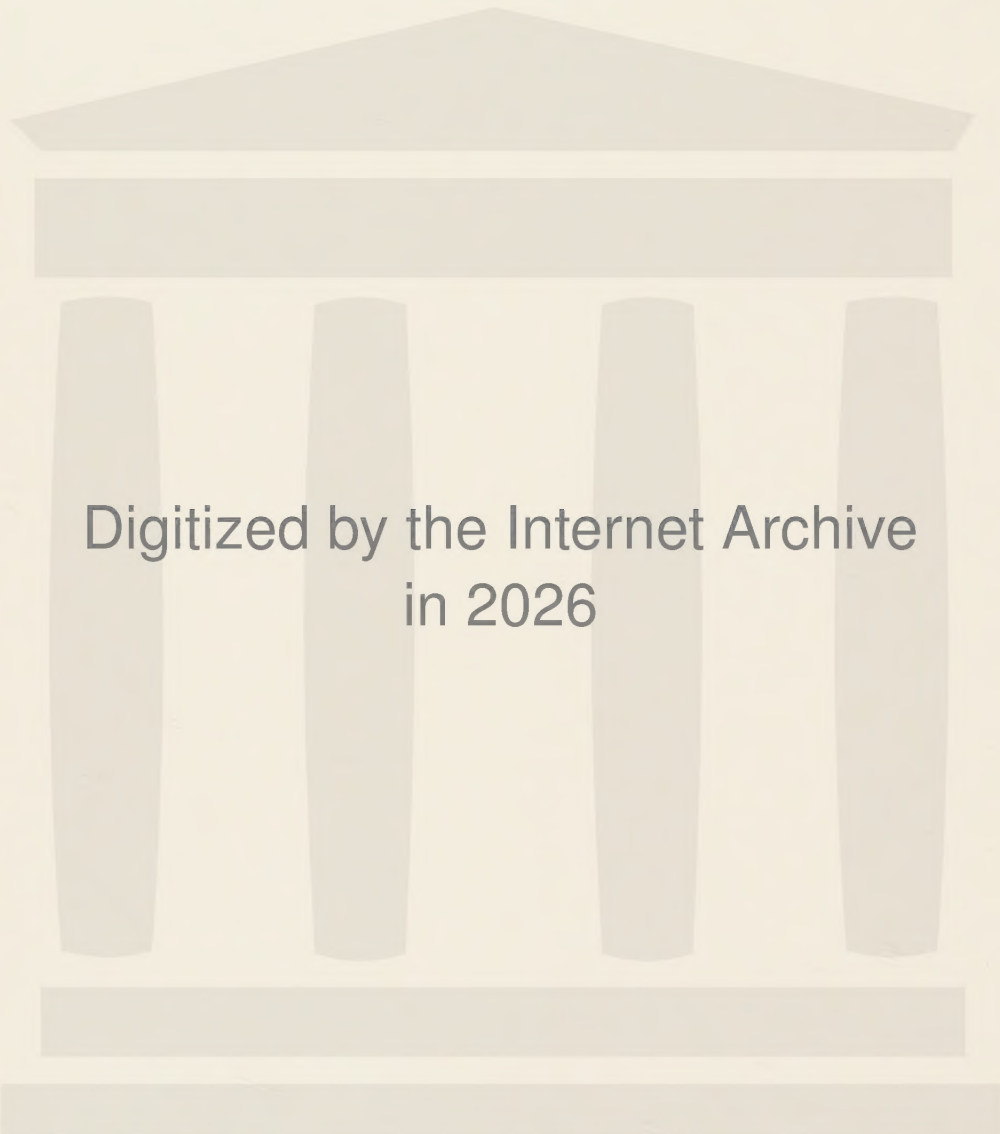


Revid 1967

TRÄSKIVOR SOM BYGGNADSMATERIAL

DEL I

S. Åke Lundgren



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545309_0002

TRÄSKIVOR SOM BYGGNADSMATERIAL

Del I

S Åke Lundgren

Nyköping 1967

Copyright
S Åke Lundgrens Ingeniörsbyrå



L-Offset Tryckeri AB, Norrköping

FÖRORD

Tillverkningstekniken för board och spånskivor har gått raskt framåt tack vare intensivt utvecklingsarbete i industriernas laboratorier och hos specialister på maskinutrustningar. En stor mängd artiklar i fackpressen ger belägg för att forskningen varit intensiv på alla nivåer.

Beträffande skivornas tekniska egenskaper och användning inom byggnadstekniken saknas däremot litteratur utöver rent hantverksmässiga handledningar. Man får ett intryck av att branschen låtit den konsumtionstekniska forskningen bli eftersatt, och detta intryck förstärkes, när man finner att även unga, modernt utbildade ingenjörer och arkitekter har ringa kunskap om dessa material. Board, spånskivor och plywood utnyttjas dock i väldiga mängder inom modernt elementbyggeri, särskilt i lätta monteringsfärdiga hus.

Det finns därför skäl att i bokform sammanfatta en del av de iakttagelser som gjorts vid författarens laboratorium beträffande dessa intressanta och mångsidigt användbara skivmaterial, som till sina egenskaper är ganska komplicerade. Redogörelsen är i första hand avsedd för konsumenter inom den egentliga byggnadsindustrien men har kanske intresse även för producenterna, som får ökade möjligheter att värdera sina produkters egenskaper.

Läsaren kanske förvånas över att redovisade, ganska omfattande undersökningar ej alltid leder fram till skarpa omdömen och anvisningar utan endast mer allmänna bedömningar. Detta beror på en medveten strävan att hellre framlägga principiella synpunkter och resonemang än att fixera rekommendationer tillämpbara i ett begränsat antal praktiska fall och för ett fåtal kvalitéer. Undersökningarna berör flera helt nya områden, vilka senare vart och ett må studeras mer ingående, sedan denna första överblick nu har presenterats.

I kontrast till detta står en kanske något pedantisk granskning av provningsnormer, men tanken har varit den, att dessa metoder måste utformas absolut logiskt och rättvisande om de skall grundlägga ett mer avancerat vetande och en fortsatt utveckling.

För allmän orientering har medtagits några kortare kapitel utanför materialens egentliga byggnadstekniska egenskaper och användning, men i princip har problem i samband med tillverkningsprocessen uteslutits eftersom dessa redan behandlats av andra författare. Ett undantag göres dock för värmebehandling av board eftersom denna del av processen har särskilt stor inverkan på produkternas kvalitet och dessutom varit föremål för speciella engagemang från min sida.

Särskild möda har nedlagts på att skriva boken på lättfattlig svenska och göra innehållet begripligt för alla som har intresse av ifrågavarande material. Det väsentliga har varit att sprida byggnadsteknisk kunskap om träskivor, ej att efterlikna den formella elegans som ofta förgyller även ganska magra forskningsrapporter nu för tiden.

De undersökningar som redovisas har utförts under en lång följd av år och har sålunda icke tillkommit i samband med något speciellt engagemang eller i samarbete med några få medarbetare. Professor em. Hjalmar Granholm gav den ursprungliga inspirationen, och senare har den svenska wallboardindustriens provningsuppdrag utgjort en nödvändig bas för arbetet. Ett särskilt tack för god hjälp förtjänar mina mångåriga medarbetare G Dahlberg, O Kroon och H-O Rehmert på laboratoriet samt fru R Andersson.

Blåhamra, Nyköping den 27.12.1967.

S Åke Lundgren

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	7
Tillverkning av träfiberskivor	8
Produktionsvolym och prisutveckling	10
Konsumtion	12
2. KVALITETSUTVECKLING OCH PROVNING, ÖVERSIKT	15
3. KLIMATISKA BETINGELSER	19
Observerad temperatur och relativ luftfuktighet	21
Observerade fuktkvoter	29
Klimat utomlands	37
Sammanfattning	38
4. SORPTION OCH FUKTRÖRELSER	39
Vattenabsorption, provningsmetoder	39
Svällning, provningsmetoder	42
Absorption och svällning, inverkan av tid och temperatur	47
Mätresultat	51
Sorption i luft	53
Hygroskopisk fuktjämvikt	58
Fuktrörelser	62
Upprepade fuktcykler	70
Förslag till provningsnorm för hygroskopiska fuktrörelser	80
Mätresultat	87
Formstabilitet	92
5. HÅLLFASTHET OCH DEFORMATION UNDER LAST	103
Korttidshållfasthet	104
Deformation under korttidslast	141
Långtidsbelastning, begrepp, provningsteknik	149
Långtidshållfasthet	155
Deformation under långtidslast	165
Återfjädring vid avlastning, inverkan av pulserande last	192
Mekanisk inverkan av fuktförändringar	200
Sammanfattning, dimensionering	202

6.	ANDRA EGENSKAPER	210
	Bearbetbarhet	210
	Ytjämnhet och ytstabilitet	213
	Målningsegenskaper	216
	Motstånd mot svampangrepp	220
	Brandegenskaper	222
	Åldring	225
7.	VÄRMEBEHANDLING	231
8.	KVALITETSvariationer	238
9.	TILLÄMPNING	244
10.	SAMMANFATTNING	253
11.	LITTERATURFÖRTECKNING	254

1. INLEDNING

Den korrekta men något otympliga benämningen 'träfiberskiva' har motvind inom svenskt språkbruk trots TNC:s rekommendation från 1944. Fabrikatnamnen Masonite och Treetex kom först på marknaden och har hållit sig kvar som varubeteckningar för hårda respektive porösa skivor.

Inom branschen användes ordet 'board' - från engelska 'fiber building board' - , men dess kollektiva natur föranleder sådana olyckliga sammansättningar som 'boardskiva'. Många tvekar inför dess uttal och säger hellre 'plattor'.

Till språkförbistringen har bidragit svårigheten att skilja mellan de många skivmaterial som tillkommit sedan 1930-talet. Visserligen finnes principiella skillnader mellan träfiberskivor, spånskivor och plywood, men artrikedomen är imponerande stor och bastarderna många, t.ex. limbundna, torrpressade fiberskivor, plywood med board som ytskikt och spånskivor med fiberbelagd yta.

Det kan vara skäl att återge SIS' definitioner för träfiber- och spånskivor, d.v.s. de svenska versionerna av ISO:s motsvarande förslag :

Träfiberskivor, SIS 23 51 01, förslagsutgåva 1 : "En träfiberskiva är en skiva framställd av lignocellulosafibrer, vilkas bindning till varandra efter filtning i första hand beror på fibrernas egna vidhäftningsegenskaper. Bindemedel och andra material kan ha tillsats. Skivans tjocklek överstiger i regel 1,5 mm."

Spånskivor, SIS 23 48 01, förslagsutgåva 1 : "Spånskiva är ett material av sammanpressat träspån eller annat förvedat råmaterial med tillsats av lim. Hydrauliskt bindemedel får ej användas."

Träfiberskivor indelas efter densitet bestämd enligt SIS 23 51 03 :

Benämning	Densitet i g/cm ³		Normalt förekommande tjocklekar i mm
	Över	T.o.m.	
Porösa skivor		0,35	10 - 19
Halvhårda skivor	0,35	0,80	6 - 16
Hårda skivor	0,80		2 - 8

Om tillsatser som ökar densiteten använts för speciella ändamål ökas ovan angivna gränser till 0,40 respektive 0,85 g/cm³.

Tillverkning av träfiberskivor.

Produktionsprocessen vid modern tillverkning av träfiberskivor har tidigare skildrats mycket utförligt i en skrift utgiven av Pappersmassedeförbundet / 1 /, varför endast en mycket kortfattad orientering skall lämnas här.

Praktiskt taget all sorts ved och träavfall kan numera användas som råvara för träfiberskivor. I första hand utnyttjas klenved och gallringsvirke samt ribb och bakar från sågverken. Tack vare förbättrade malningsmetoder kan bark, såg- och kutterspån inblandas i avsevärda mängder. Bark från björk och även asp undvikas dock emedan den medför ytfläckar på hård board.

Sedan veden huggits till flis och tvättats fri från föroreningar, sker defibrering, som kan utföras på principiellt olika sätt. Enligt Masonite-metoden uppvärms flisen först i mättad ånga till drygt 200 °C. Sådan basning minskar slutprodukten halt av utpräglad hygroskopiska beståndsdelar, men därmed reduceras också utbytet. Efter ytterligare tryck- och temperaturhöjning avlastas trycket momentant, så att flisen explosionsartat utblåses ur den s.k. kanonen genom en slitsbricka, varvid de enskilda fibrerna frilägges.

Den s.k. mittenlamellen i virkets fiberstruktur mjuknar vid ca 175 °C, och detta utnyttjas vid den svenska Asplund-metoden för att minska malningsarbetet och skonsammare skilja fibrerna. Efter förberedande basning vid 170 - 190 °C defibreras flisen mellan roterande malskivor av stål vid bibehållet högt tryck, ca 10 at ö.

Båda dessa fiberslag kan innehålla en mindre mängd spotor, d.v.s. fiberknippen, varför en efterföljande silning och ev. raffinering erfordras. Sådan ytterligare malning ökar fiberns filtningsförmåga men gör den samtidigt svårare att avvattna. Om fiberlängden klipptes ner, erhålles ark med ökad täthet och förbättrad ytjämnhet, men dimensionsstabiliteten vid fuktväxlingar försämras i någon mån. Samma effekt har inblandning av malen sågspån.

För speciella ändamål användes grov slipmassa, t.ex. som ljust och lättmålat ytskikt på hård board och som förstärkande tillsats i fibermassa för porösa skivor.

Efter utspädning till mycket låg koncentration samt dosering av kemikalier, bl.a. för pH-reglering, upptages mäliden vanligen på planviramaskin, där avvattning sker genom sugning och valspressning.

Vid tillverkning av hård board torkas våtarken i varmpressar vid ca 200 °C och 50 kp/cm². Även halvhårda skivor pressas men vid lägre tryck. Presstiderna varierar från 7 min. för hårda 3 mm skivor till 50 min. för halvhård 12 mm board med volymvikt 0,55. Efter pressning följer värmebehandling, s.k. härdning, i het luft vid ca 165 °C under 2 - 7 timmar, vilket förbättrar boardens kvalitet i flera avseenden. Slutligen fuktkonditioneras arken i våtvarm luft till 5 á 8 % fuktkvot för att komma i balans med normal luftfuktighet.

Porös board torkas ej i press utan friliggande i s.k. rulltork, där arken långsamt vandrar fram på rullbanor i flera våningar. Torkluften brukar hålla en temperatur omkring 160 °C och skall ha stort fuktinnehåll för att ge god genomtorkning och bästa värmeekonomi. Särskild härdning utföres normalt icke av porös board, men om arken får kvarligga i torken något längre tid än torkningen fordrar, stiger arktemperaturen över 100 °C, och en viss härdningseffekt erhålles kännetecknad av ökad hållfasthet, lägre vattenabsorption samt förbättrad dimensionsstabilitet hos slutprodukten.

Hård board tillverkas vanligen med längden 16' eller 18' (4,9 och 5,5 m) samt bredden 4' (1,22 m). Även 5' - 5 1/2' bredder produceras, vilket passar bättre till dörrformat. Porös board framköres ofta i mycket stora format, t.ex. 12' x 26' (3,66 x 7,93 m), som dock omedelbart uppsågas till mindre ark med bredden 4' och längder motsvarande normala rumshöjder. Dessutom förekommer speciella skärningar för akustikplattor o.dyl.

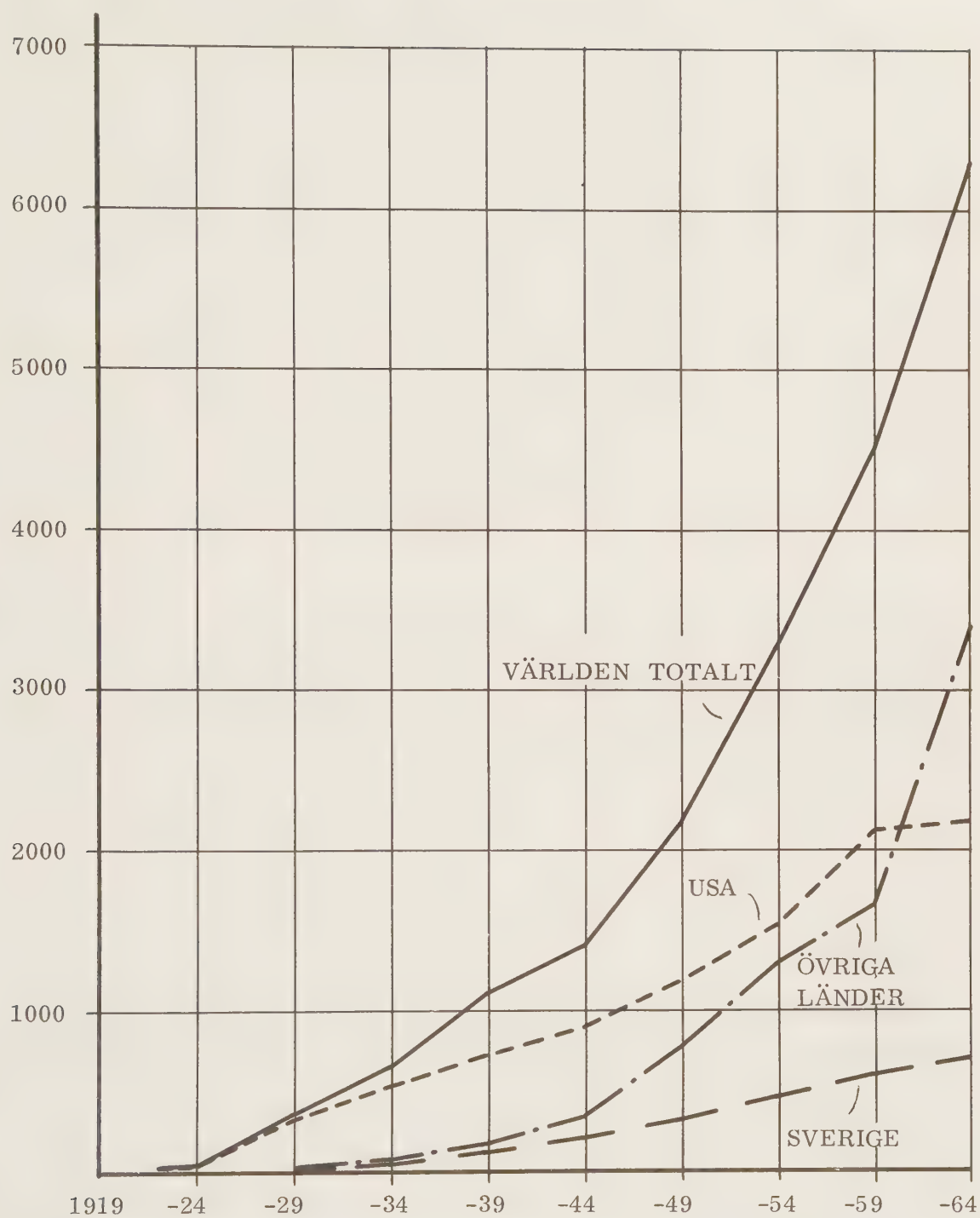
Produktionsvolym och prisutveckling.

Tillverkning av porösa fiberskivor påbörjades i USA redan 1912 och hårda skivor 1926, sedan amerikanen W Mason uppfunnit sin berömda metod. I Sverige torde de första skivorna ha tillverkats 1927 eller 1928 av Gustaf Bremmer vid en liten anläggning i Harg utanför Nyköping, men råvaran där var halm, som defibrerades mellan kvarnstenar. Den första produktionen av egentliga, hårda träfiberskivor upptogs 1929 av Nordmalings Ångsåg, nuvarande Masonite AB, som redan från början tillämpat Masonite-metoden. Året därpå startade Mo och Domsjö sin tillverkning av porös board, den första i Europa, under namnet Treetex. Sedan dess har i Sverige tillkommit 17 nya fabriker, alla arbetande med Asplunds defibreringsmetod eller liknande.

Produktionskapaciteten har utvecklats utomordentligt snabbt både i Sverige och USA samt, efter andra världskriget, även i många andra länder / 2 /, se figur 1.

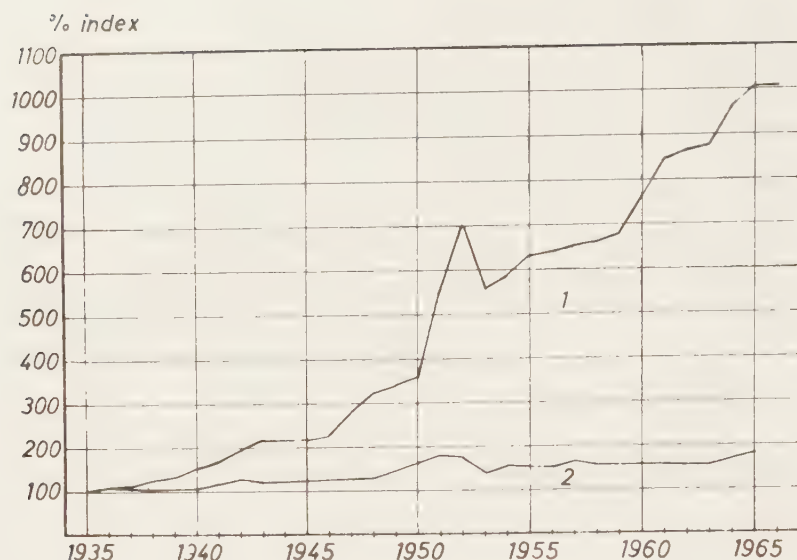
Tillverkningen av träfiberskivor har successivt automatiserats i så hög grad, att antalet arbetstimmar per ton producerad board sjunkit från 30 till 10 under perioden 1935 - 1965 / 2 /. Samtidigt har förbättrad tillverknings-teknik möjliggjort användning av billigare råvara. Dessa faktorer har stabiliserat boardpriserna under en period, då stora prisstegringar drabbat de flesta andra varor inkl. sågat virke. Figur 2 redovisar prisutvecklingen för board och virke.

Tusen ton/år



Figur 1. Boardindustriens produktionskapacitet

Figur 2



Prisutveckling för hyvlade trävaror (1.) och träfiberskivor (2.)

1. Hyvlade trävaror, konsumentpris

2. Träfiberskivor, " "

Av den svenska produktionen exporteras en betydande del. Före andra världskriget och under åren närmast därefter utgjorde exporten ungefär 1/3, men i början av 1950-talet ökade andelen till ca 2/3, där den sedan hållit sig. Detta motsvarar ett årligt exportvärde av närmare 200 milj. kr.

Konsumtion

En betydande inhemsk produktion av träfiberskivor i förening med träbyggnads-traditioner har medfört stor boardkonsumtion per capita i Sverige och även i övriga nordiska länder. Sverige ligger dock högst, vilket kan förklaras av vår bostadsstandard med riklig fast inredning i form av köksskåp och garderober. Bidragande är också, att vi i jämförelse med t.ex. USA och Finland har en ganska liten egen tillverkning av plywood beroende på begränsad tillgång av lämplig råvara.

Årskonsumtionen per capita i skilda länder enligt / 2 / framgår av figur 3.

Figur 3. Årskonsumtionen av träfiberskivor i kg per capita 1962.



Svenska Wallboardföreningens marknadsundersökningar har visat, att närmare 50 % av boarden förbrukas av den egentliga byggnadsindustrien, därav ca 3/4 till reparationer och 1/4 till nybyggnad. Snickeriindustrien konsumerar 40 % av totalvolymen, och resterande 10 % fördelar sig på en mängd smärre objekt bl.a. hobbyverksamhet. Denna fördelning gäller svenska marknaden. Utomlands är snickeriindustrien helt dominerande som konsument.

Under de senaste 5 åren har konsumtionen av board för golv stigit markant, vilket bidragit till en överraskande stor ökning av den inhemska förbrukningen.

2. KVALITETSUTVECKLING OCH PROVNING, ÖVERSIKT

Redan från början inriktades fabrikanternas ansträngningar på att få träfiberskivorna så starka och vattenavvisande som möjligt. Det var nödvändigt att markera boardens karaktär av träprodukt ställd i motsats till förhållandevis mjuk och fukt känslig papp. Men från papperstekniken övertogs många kunskaper bl.a. om fibermassans limning, pH-reglering och upptagning på viramaskiner.

Omkring 1940 upptäcktes, att presstiderna kunde förkortas och ökad kapacitet vinnas om skivorna fick genomgå en separat 'härdning' i het luft efter pressningen. Med denna metod erhöles dessutom högre kvalitet med påtagligt förbättrad bearbetbarhet, varför boarden såldes till något förhöjt pris under beteckningen 'snickeriboard'.

Härdningsmetoden uppfanns troligen samtidigt vid flera svenska fabriker, och något patentskydd uttogs ej på det ursprungliga förfarandet. Utvecklingen har emellertid senare visat, att härdningen utgör en synnerligen väsentlig del av tillverkningsprocessen och tilldrager sig numera så stort intresse, att den motiverar utförlig beskrivning i ett senare kapitel.

P.gr. av den våldsamma prisstegringen för virke under åren 1950 - 1952 ökade intresset för board både inom snickeribranschen och byggnadsindustrien, särskilt bland tillverkare av monteringsfärdiga trähus. Vid skogsägarnas husfabrik i Hultsfred byggdes 1952 en anläggning för produktion av en speciell typ porösa skivor avsedda att ersätta gängse brädpaneler på in- och utsida av regelväggar. Produkten lanserades som 'Fiberpanel' och blev därmed föregångare till byggboard. Senare utvecklades ur samma material byggelementen 'Fiberplank' / 4 /.

Ungefär samtidigt - och säkerligen med samma marknadsmässiga bakgrund - kom gipsskivor och spånskivor på den svenska marknaden. Något senare, 1958, presenterade Mo och Domsjö Treetex AB en 12,5 mm tjock panelersättande träfiberskiva med en densitet av ca 0,5 g/cm³. Denna skiva var varmpressad i motsats till fiberpanelen från Hultsfred och hade därför

ganska täta ytskikt väl lämpade för såväl målning som tapetsering. Tillverkningen hade föregåtts av omfattande laboratorieundersökningar med syfte att finna en kompromiss mellan å ena sidan önskvärd styrka hos skivan och å den andra tillräcklig elasticitet för att tillåta stum skarvning utan risk för fogsprickor vid fuktväxlingar. / 5. 6. /.

Med dessa händelser på 1950-talet började en mångsidig utveckling, framdriven av stigande virkespriser och arbetslöner samt en ständig konkurrens mellan olika skivmaterial. Radikala förändringar förestod inom snickeri- och trähusindustrin.

Men ökad och mer avancerad användning av skivor medförde många praktiska problem. Board hade tidigare använts mest som beklädnad av panelade väggar - därav uttrycket 'wallboard' - , men när tunn board började limmas mot klens ramverk i snickerier och tjock 'byggboard' spikas direkt på väggars regelverk, då blev med ens hygroskopiska form- och dimensionsförändringar ett aktuellt problem. Att utforma starka, orörliga fogar mellan skivorna visade sig svårare än väntat.

De stora formaten och gynnsamma priserna hos träfiberskivor lockade till användning av board även i husstommar, t.ex. som liv i balkar. Många trähusfabrikanter experimenterade därmed, men endast några få fann praktiskt användbara lösningar : AB Elementhus' lådformade vägg- och bjälklagselement med liv av 1/8" hård board, samt AB Hultsfreds Industriernas s.k. Fiberplank. Andra drabbades av bakslag i form av spjälkning hos boarden vid limfogar eller oväntat stora deformationer med tendens att ständigt öka.

Vid denna tidpunkt gavs inga upplysningar om skivors hygroskopiska rörelser vid växlande luftfuktighet, ej heller fanns någon uppfattning om de fuktförhållanden som förekommer och säsongsmässigt varierar i byggnaders olika delar. Tillgängliga uppgifter om materialens hållfasthet och moduler visade sig alltför optimistiska för användning i konstruktionsberäkningar.

Om bristen på hygroskopiska och mekaniska data sålunda hämmade skivornas konstruktiva möjligheter, så saknade även snickeriindustrien normer för bestämning av väsentliga egenskaper hos de nya materialen. Träfiberskivors bearbetbarhet utgjorde ett ständigt problem, men objektiva bedömningsgrunder saknades också för sådana egenskaper som planhet, delamineringsmotstånd, ythjämnhet, ythårdhet och färgsugning.

Under en lång period av 'säljarens marknad' hade boardtillverkarnas intresse koncentrerats på ökad kapacitet vid fabrikerna samt låg vattenabsorption och stor böjstyrka hos produkten - de bestående kännetecknen för ett förstklassigt fabrikat.

Dessa egenskaper har även i Sverige hållit sig kvar som dominerande mått på boardens kvalitet, och eftersom större delen av den svenska boardproduktionen går på export, kan ingen avgörande ändring påräknas, förrän andra internationella normer framkommit och blivit allmänt accepterade. Visserligen har ISO/TC 89 arbetat med normering av board under snart 10 år, men av hittills framlagda förslag har endast ett fåtal elementära provningsmetoder accepterats - därtill ej helt lyckade - , vilket snarast permanentat de föråldrade bedömningsgrunderna. Det ligger i sakens natur, att internationellt standardiseringsarbete tager tid. Acceptabla kompromisser är svårare att uppnå om branschen ej längre är ung utan hunnit utveckla lokal praxis vid skilda fabriker och i olika länder. Men nog förefaller takten i normeringsarbetet låg och intresset ljust, medan benägenheten att göra det bästa till det godas fiende är framträdande. Under tiden väntar konsumenterna otåligt eller söker sig var och en på sitt håll fram efter vägar, som ofta leder till dubbelarbete och onödiga misslyckanden.*

De undersökningar som redovisas i denna skrift har utförts under perioden 1954 - 1967. Syftet var från början att bedöma träfiberskivors användbarhet som konstruktionsmaterial för trähus med särskild hänsyn till fukt och långtidsbelastningar. De första resultaten blev ganska negativa, varför arbetet inriktades på något mindre avancerade användningsområden för skivorna samt utveckling av bättre provningsmetoder. Samtidigt genomfördes flera mycket tidskrävande provningsserier med långtidsbelastning. Under de senaste åren har ny-

*Not : Under senare delen av 1967 tycks en vändning till det bättre ha inträffat, och vid ISO-möte i oktober har betydande framsteg gjorts.

tillkomna kvalitéter av träfiber- och spånskivor studerats, varvid enstaka provkroppar av plywood medtagits för jämförelse, må vara osäker p.gr. av de relativt stora lokala kvalitetsvariationer som förekommer hos detta skivmaterial.

En särskild del av undersökningarna har utrett vilka klimatiska betingelser skivor exponeras för i praktiken. Det finns flera skäl att studera den frågan ingående. Dels bör laboratorie-metoder för bestämning av materialens hygroskopiska förändringar någorlunda motsvara praktiskt förekommande fuktintervall, dels måste man känna varaktigheten hos olika fuktnivåer för att kunna beräkna skivors långtidshållfasthet och deformation, vilka båda visat sig i hög grad fuktberoende. De säsongsmässiga fuktväxlingarna i skilda lokaler skall också kunna efterliknas vid provning av monterade skivors fogar, tendenser till buckling m.fl. hygroskopiska effekter.

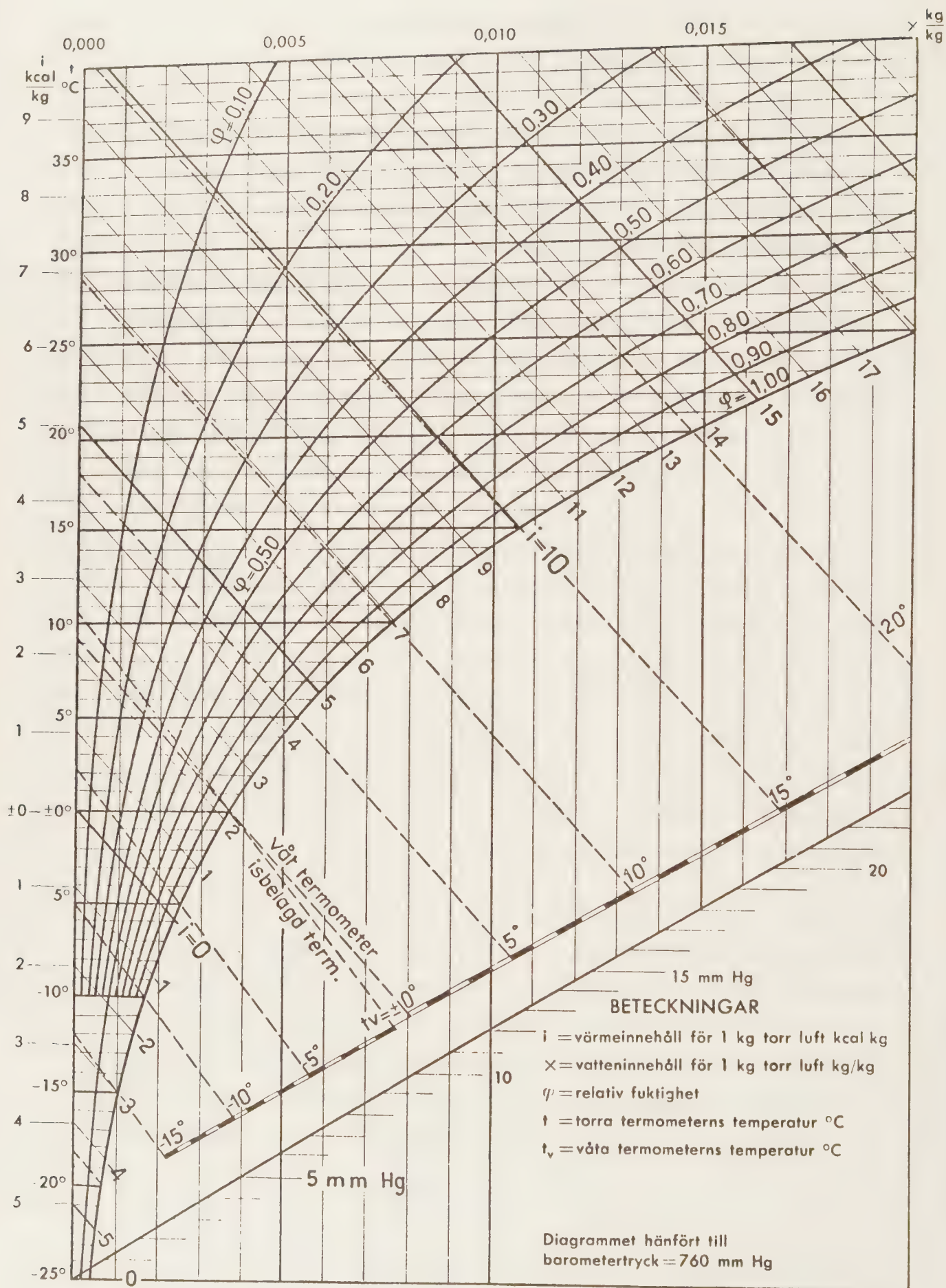
3. KLIMATISKA BETINGELSER.

Det behövs instrument för att kunna bedöma luftens relativa fuktighet ty sinnesintrycken är ej entydiga. De sammanblandar luftfuktighet, temperatur, lufthastighet, kroppens aktuella kondition m.m., varför t.o.m. relativa bedömningar blir osäkra.

Om regn, dagg eller rimfrost förekommer, brukar den relativa luftfuktigheten visserligen vara hög men behöver ändå icke ligga nära 100 %, som är ett utomordentligt sällsynt värde. Regn kan ha bildats genom kondensering i kyliga luftlager, så att dropparna åtminstone i ett inledande skede fungerar som kalla kondenseringsytor i en måttlig luftfuktighet på marknivå. Dagg och rimfrost beror i första hand på att fasta föremål blir undertempererade relativt luften p.gr. av värmeutstrålning under klara nätter. Det behövs bara några graders temperaturfall för att kondensering skall ske ur luft med måttlig fuktighet. Eftersom frågor av detta slag ofta återkommer i samband med resonemang om klimat och hygroskopiska förändringar, återgives i figur 4 ett mollierdiagram för normala temperaturer.

Ett klimats fuktighet bedöms i allmänhet efter nederbördsmängden. Man anser t.ex. att den svenska västkusten har ett utpräglat fuktigt klimat jämfört med östkusten. Tveksammare blir bedömningen av fuktigheten inomhus i bostadsrum, kök, badrum och på kalla vindar eller kanske i ouppvärmda garage, där vatten och snöslask ofta droppar ner på golvet.

Uppgifter om luftfuktighet utomhus på olika orter kan erhållas bl.a. från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Klimat inomhus i olika lokaler har mer sporadiskt studerats i samband med speciella byggnadstekniska undersökningar avseende t.ex. skador från rötsvampar och fuktkondensering. Emellertid är det omöjligt att ur dessa uppgifter draga säkra slutsatser om vilken fuktighet trämaterial av skilda slag skulle uppnå vid olika tillfällen. P.gr. av begränsad sorptionshastighet kommer fuktkvoten hos skivor givetvis icke att



Figur 4

direkt följa luftfuktighetens variationer, som särskilt utomhus är stora och frekventa p.gr. av ständiga temperaturväxlingar och väderleksomslag.

För att få ett säkert grepp på praktiskt förekommande fuktkvoter och dessas variation i träfiber- och spånskivor har provkroppar av sådana material förvarats utomhus samt i olika lokaler inomhus under en följd av år, varunder fuktkvoten bestämts genom successiva vägningar. Samtidigt har luftens temperatur och luftfuktighet registrerats av termohygrografer, modell Wilh. Lambrecht nr 252, utplacerade vid samma 'klimatstationer' som provkropparna.

Genom att i efterhand jämföra det lokala klimatet under provperioden med t.ex. de officiella registreringarna under längre tidsperioder och på andra orter såväl inom Sverige som utomlands kan omfattande slutsatser dragas om vilka fuktkvoter som kan påräknas i olika fall för ifrågavarande skivmaterial.

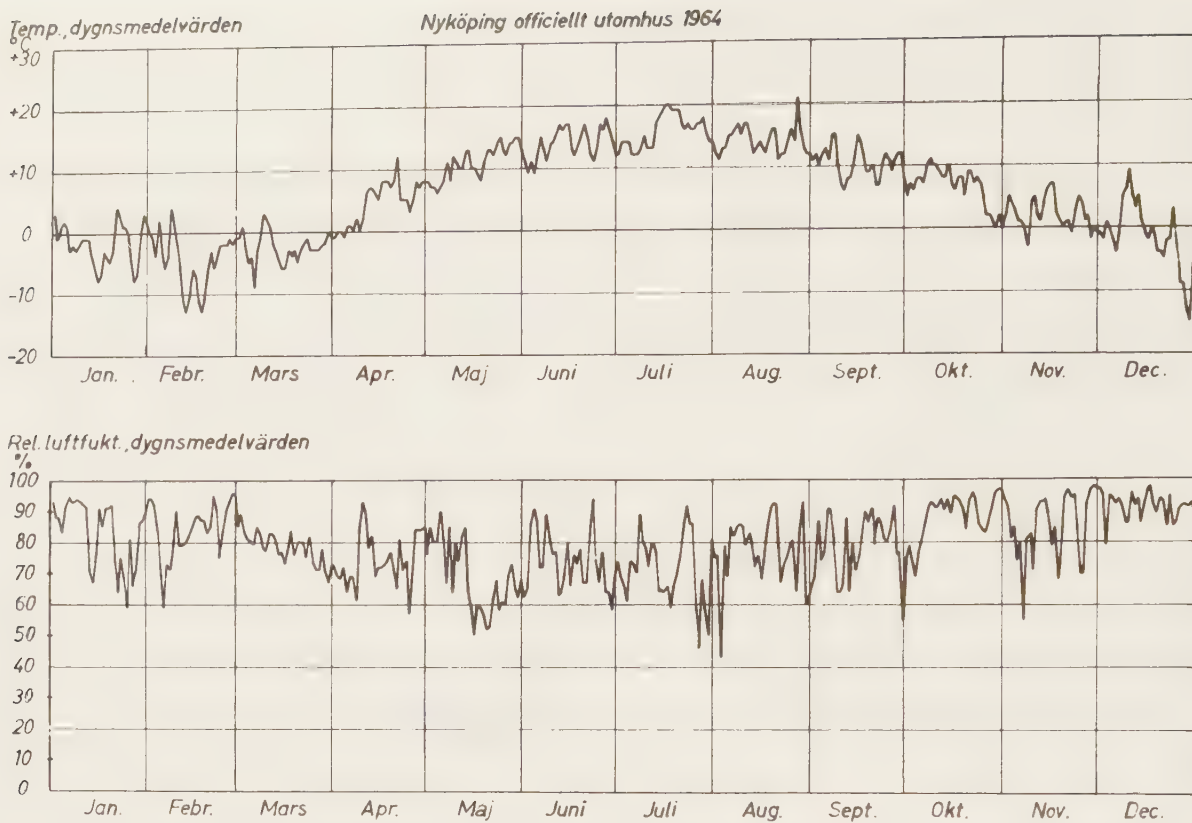
Mätningarnas uppläggning och viktigaste resultat skall nu redovisas.

Observerad temperatur och relativ luftfuktighet.

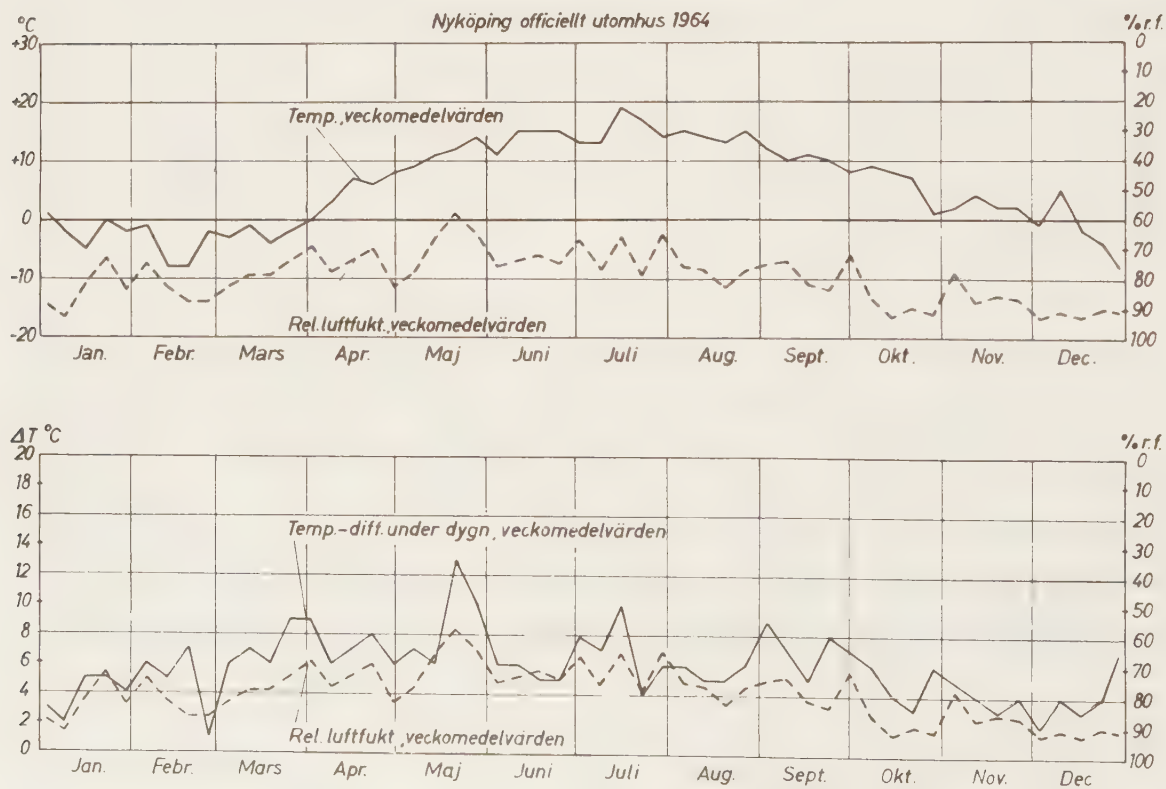
Figur nr 5 a och b redovisar dygnsmedelvärden för temperatur och relativ luftfuktighet utomhus i Nyköping 1964. Pendlingarna i temperatur är större vintertid än under sommaren, då de håller sig kring 6 °C. Relativa fuktigheten uppvisar våldsamma och oregelbundna växlingar under hela året. Man kan ur en sådan kurva icke dra några slutsatser om fuktkvoten hos utomhus placerade skivmaterial.

Figur 6 a visar samma klimatväxlingar som 5 a och b men i form av veckomedelvärden för temperatur och luftfuktighet. Dessa två klimatfaktorer uppvisar inget enkelt samband med varandra även om de har samma säsongsmässiga tendenser i stort.

Diagram 6 b är intressantare. Där har relativa luftfuktigheten ställts mot veckomedelvärden för maximala temperaturdifferenser under varje enskilt dygn baserade på mätningar klockan 01 07 13 och 19. De två kurvorna visar ett



Figur 5 a och 5 b



Figur 6 a och 6 b

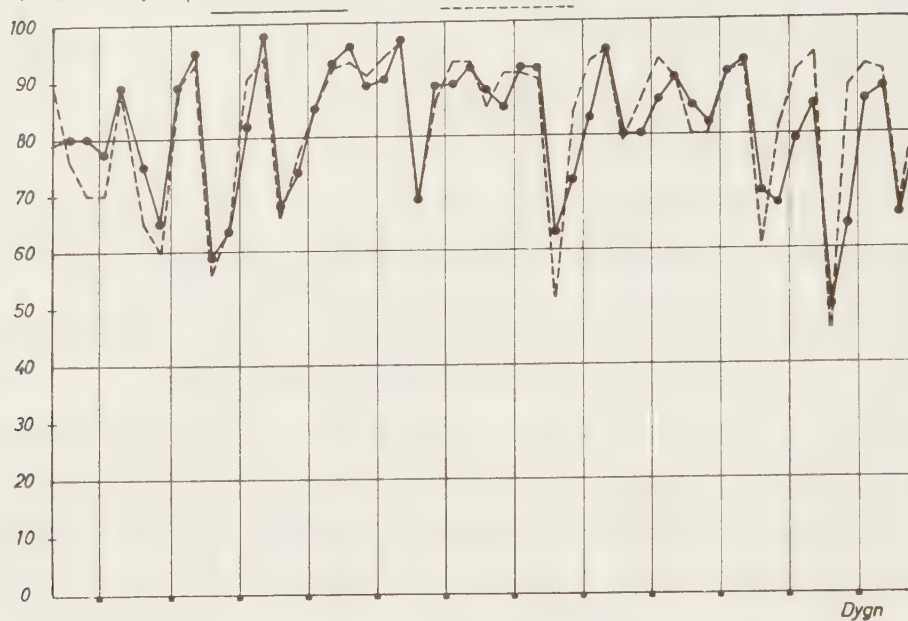
tydligt samband. Orsaken måste vara den, att stora temperaturväxlingar innebär relativt låga natt-temperaturer med utkondensering av luftens fuktighet som påföljd. Kondenseringen blir störst under våren, när marken, sjöar och vattendrag fortfarande håller låg temperatur. Luften blir desto torrare under de långa dagarna, vilket ytterligare underlättar kraftig solinstrålning. Under de mörka månaderna november och december blir temperaturvariationerna under dygnet relativt små, vilket medför årets högsta luftfuktighet. Därtill bidrager avdunstningen från vattensamlingar, vars kvardröjande övertemperatur ger högt ångtryck.

Klimatet utomhus uppvisar mycket stora lokala variationer icke endast beroende på avstånd till vattendrag utan även markförhållanden, vegetation etc. Det är därför ganska svårt att finna en lämplig plats för en mätstation utomhus om den önskas ge representativa värden överensstämmande med officiella registreringar. I och för sig kan man ifrågasätta om just det officiella klimatet är tillämplbart och dimensionerande för byggnadskonstruktioner utomhus, då byggnadsverkets allmänna utformning kan inverka avsevärt på klimatet kring de aktuella elementen. Å andra sidan bör mätningar på en ort, i detta fall Nyköping, utföras på sådant sätt, att man genom jämförelser av olika orters klimat kan dra landsomfattande slutsatser.

För att kontrollera laboratoriets mätstation utomhus mot officiella värden för Nyköping har jämförelser utförts vid olika tidpunkter, vilket bl.a. motiverat en förbättring av stationens isolering mot solinstrålning, innan de avgörande mätningarna påbörjades i juli 1964. Figur 7 redovisar jämförande mätvärden för relativ luftfuktighet 4 ggr per dygn under en typisk period. Avvikelser förekommer naturligtvis, men i stort sett är överensstämmelsen förbluffande god om man beaktar att avståndet är ca 3 km mellan de två stationerna.

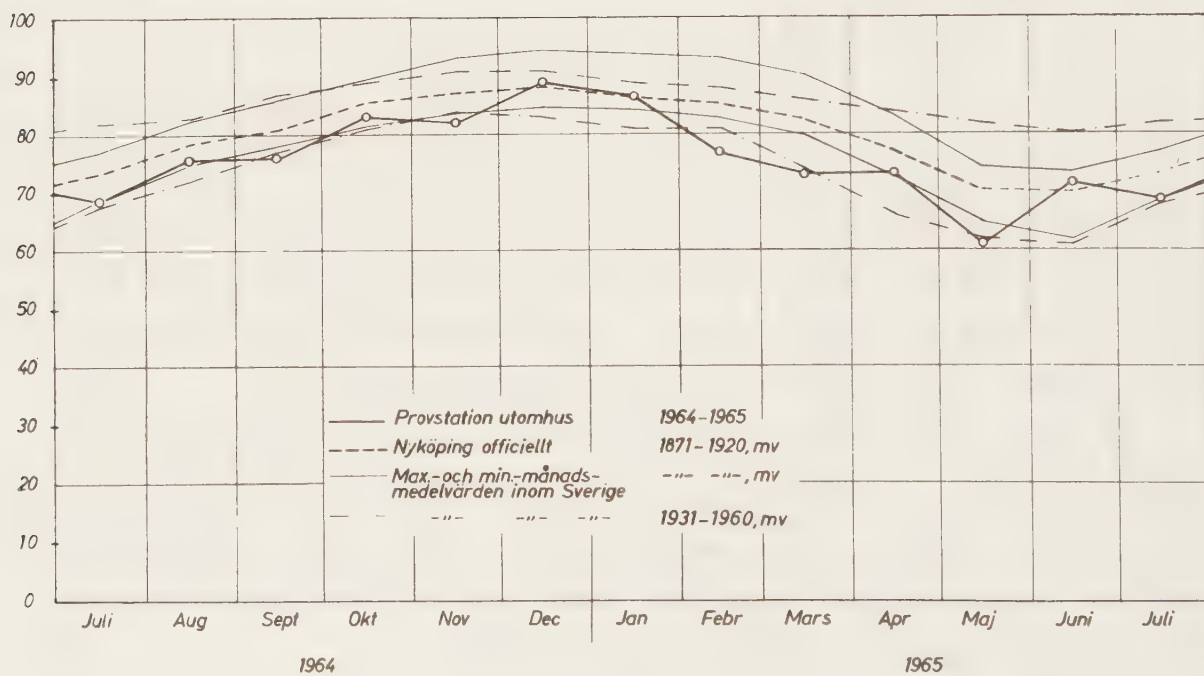
Nyköpings relativa luftfuktighet enligt officiella mätningar under många år redovisas i figur nr 8. Månad för månad anges också högsta och lägsta månadsmedelvärden för orter inom Sverige under perioderna 1871 - 1920 och 1931 - 1960. Maximikurvorna kan sålunda representera skilda orter under olika månader, och detsamma gäller naturligtvis även minimikurvorna.

% Rel. luftfukt, vid provstationen utomhus och officiellt Nyköping, jämförelse



Figur 7

% Rel. luftfukt, månadsmedelvärden, utomhus



Figur 8

Figur 8 redovisar också laboratoriets mätvärden utomhus för perioden juli 1964 - juli 1965. Värdena ligger lägre än det officiella medelvärdet för Nyköping 1871 - 1920. Nyköping finnes icke redovisat vid mätningarna 1931 - 1960, men eftersom dessa genomgående givit något lägre värden än för 1871 - 1920, kan laboratoriets mätvärden anses tämligen representativa för Nyköping. I varje fall är luftfuktigheten enligt dessa under de avgörande månaderna december - januari åtminstone normal, möjligen något högre.

Perioderna 1871 - 1920 och 1931 - 1960 avviker ganska mycket från varandra. Detta kan bero på att mätnoggrannheten är ganska låg - enligt uppgift kan avvikelser på $\pm 2 \text{ till } 3 \%$ förekomma - samt att dygnsmedelvärden för den första perioden har beräknats enligt formeln $\bar{U}_{\text{dygn}} = 0,3 \bar{U}_{08} + 0,2 \bar{U}_{14} + 0,5 \bar{U}_{21}$, medan man numera använder andra formler på grund av ändrade observationstider, nämligen

$$\bar{U}_{\text{dygn}} = \frac{1}{5} (2\bar{U}_{07} + \bar{U}_{13} + 2\bar{U}_{19}) \text{ för augusti - april}$$

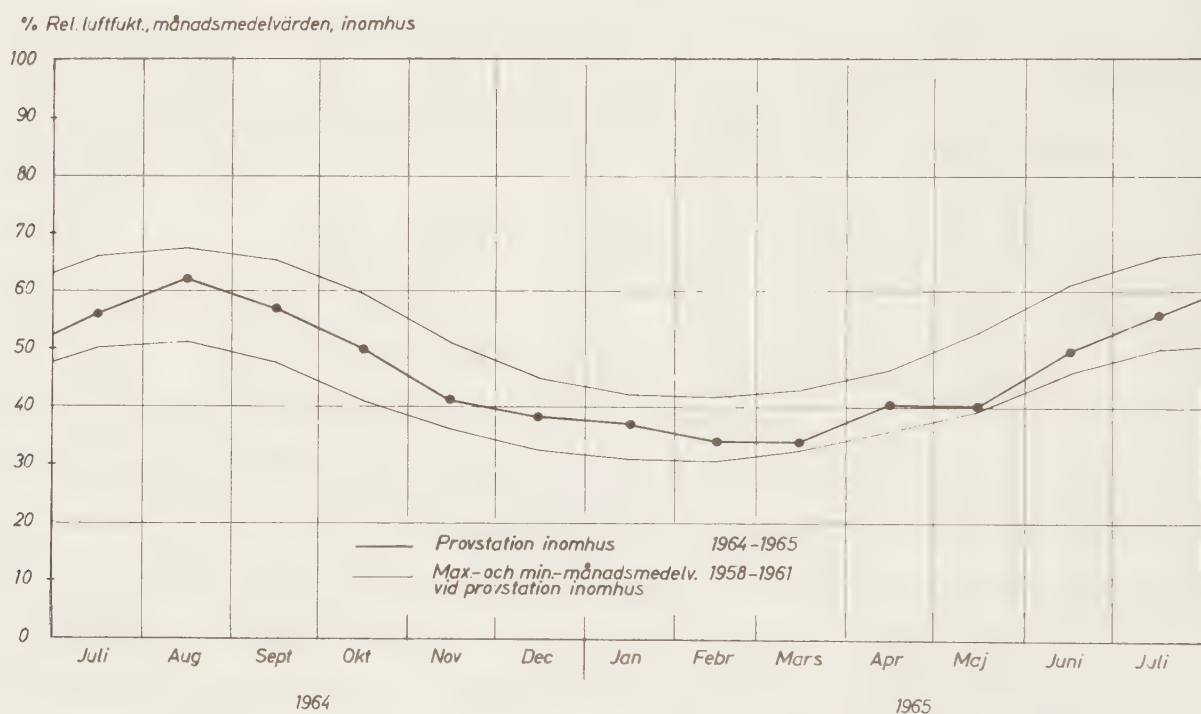
$$\bar{U}_{\text{dygn}} = \frac{1}{2} (\bar{U}_{07} + \bar{U}_{19}) \text{ för maj - juli}$$

Enligt de officiella meteorologiska klimat-tabellerna för ca 35 orter är skillnaden i årsmedelvärde ganska liten. Maximivärden, ca 84 %, uppvisar orter som Karesuando, Haparanda, Kalmar, Lund och Ystad. Låga årsmedelvärden, omkring 77 %, har noterats för t.ex. Kiruna, Sveg, Västerås, Strömstad och Göteborg. Sistnämnda uppgifter motsäger den traditionella uppfattningen att Västkusten skulle ha särskilt fuktigt klimat. Något längre in i landet på den nederbördsrika västslutningen av småländska höglandet är luftfuktigheten däremot hög, t.ex. 82 % i Borås.

Iakttagelserna bekräftar icke helt, att större, närbelägna vattenmassor skulle hålla luftfuktigheten nere. En sådan effekt uppnås naturligtvis endast om pålandsvind är förhärskande såsom vid Västkusten men förutsätter också relativt låg vattentemperatur. Detta i sin tur beror på årstid, havsströmmar etc.

Självfallet kondenserar luftfuktigheten även mot andra kalla ytor än vatten, t.ex. som dagg på marken, men kondensationsvärmets får därvid större temperaturinverkan än på en rörlig vattenmassa.

Luftfuktigheten inomhus under provperioden juli 1964 - juli 1965 redovisas i figur 9, som också anger de maximala och minimala månadsmedelvärden som under åren 1958 - 1961 observerats i samma lokal, nämligen ett av laboratoriets kontorsrum. Den säsongsmässiga regelbundenheten är markant men den absoluta nivån kan variera 10 $\pm$ 15 % mellan olika år. Maximal relativ luftfuktighet, 60 $\pm$ 70 %, uppnås regelmässigt i augusti. Sedan eldningssäsongen börjat i september, blir inomhusklimatet successivt torrare och når minimum vid ca 30 % r.f. i februari, som är kallaste månad i Nyköping och på de flesta orter inom landet.



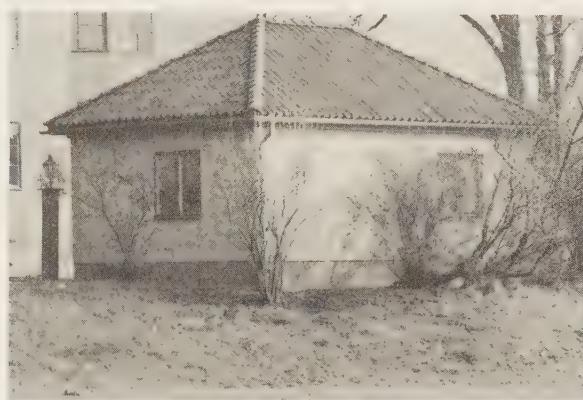
Figur 9

Förutom vid de två provstationerna utom- och inomhus har temperatur och luftfuktighet fortlöpande registrerats i dels ett kallgarage, dels ett ventilerat kryprum under en källarlös byggnad. Garaget, som ligger ca 70 m från mätstationen utomhus, är utfört i kraftig träkonstruktion med dubbla paneler i väggar och tak samt tegeltäckning. Golvets består av betongplatta direkt på mark. Se fig. 10. Kryprummet finnes under ett källarlöst provhus med planmått

5,5 x 7,8 m. Huset är uppfört av trämaterial och står på impregnerade träplintar utvändigt täckta av sockelskärm med 6 ventilationsöppningar 15 x 15 cm. Ventilarean är sålunda 31 cm² per m² markyta, vilket skall jämföras med rekommendationen 25 cm² per m² enligt Informationsblad 1964 : 17 från Statens Institut för Byggnadsforskning / 7 /. Markytan har varit avjämnad med grus men ej fuktspärrad med plastfolie. Byggnaden ligger högt jämfört med terrängen omkring. Se fig. 11.



Figur 10

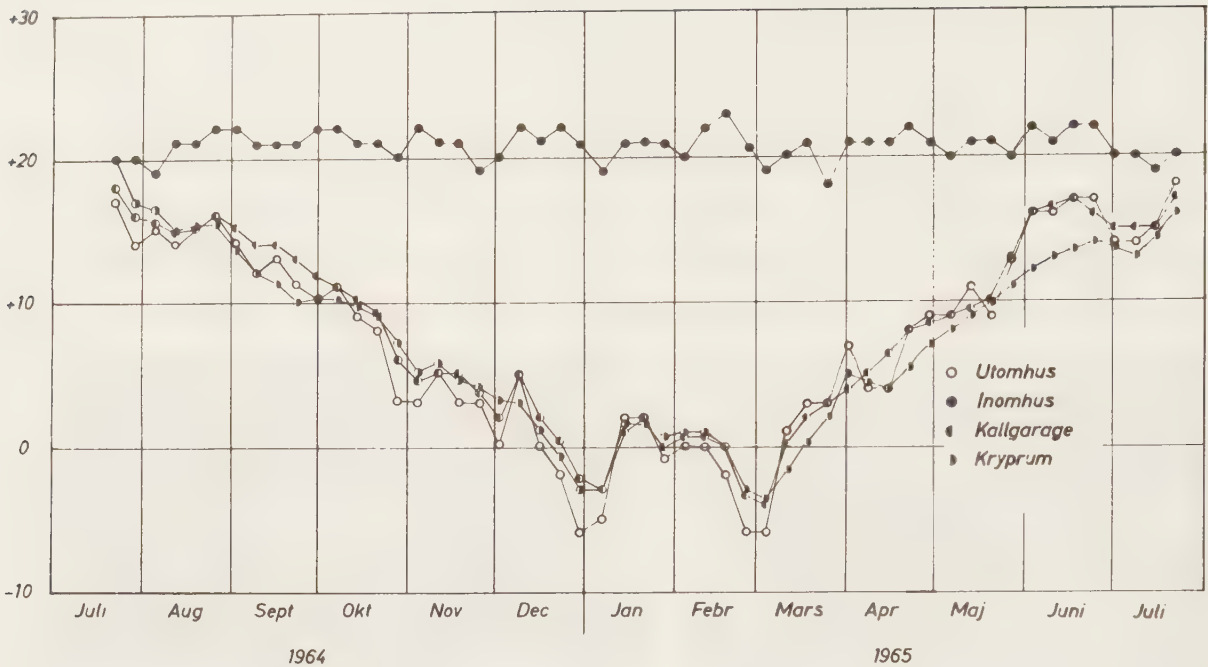


Figur 11

Fig. 12 redovisar veckomedelvärden för temperaturer uppmätta vid de fyra mätstationerna. Inomhustemperaturen har naturligtvis hållit sig tämligen konstant under hela mätperioden, d.v.s. 19 ± 22 °C. Kurvan för utomhustemperaturen visar händelsevis två utpräglade minima under vintern men förlöper f.övr. säsongsmässigt naturligt. Under hösten och vintern håller kallgaraget och kryprummet i allmänhet något högre temperatur, men omvänt förhållande råder i någon mån under våren, när solinstrålningen värmer luften utomhus men marken ännu är kall. Av naturliga skäl blir de tillfälliga temperaturväxlingarna minst i kryprummet, där marken har dämpande inverkan, ventilationen är ringa och direkt solinstrålning ej förekommer.

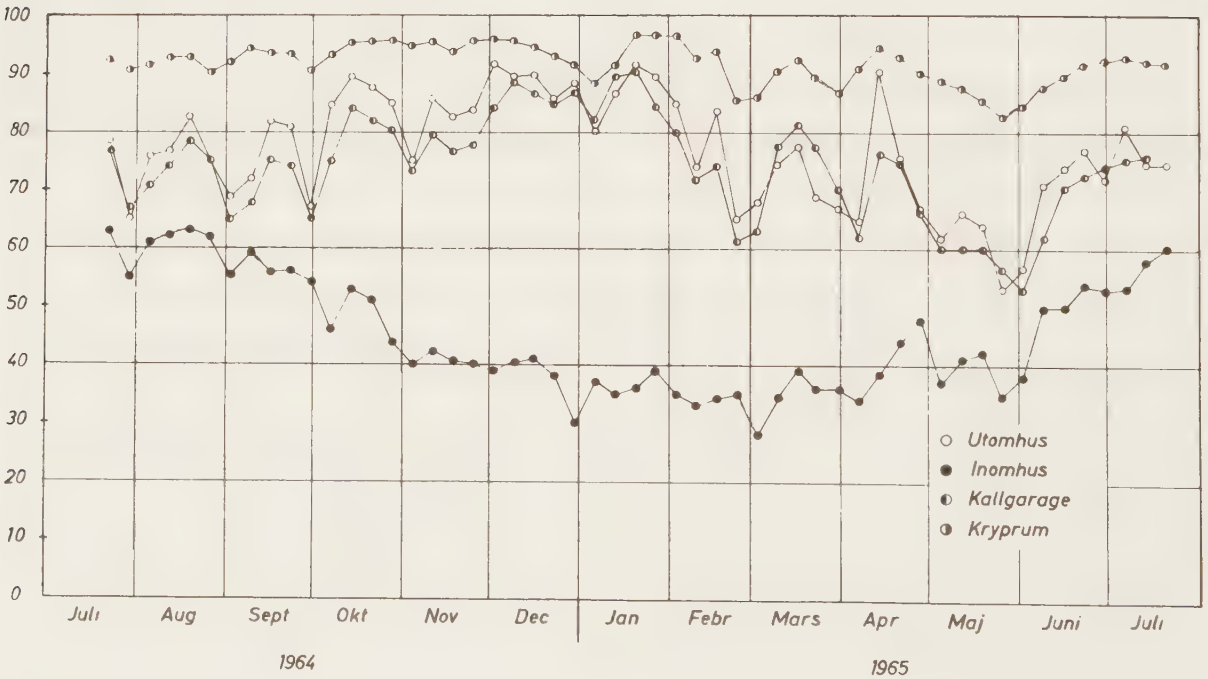
Fig. 13 anger veckomedelvärden för r.f. vid mätstationerna. Köldperioderna vintertid återspeglas av fuktminima inomhus med veckomedelvärden t.o.m. under 30 % r.f. Utomhus växlar klimatet våldsamt. I mitten av april har noterats 90 % som veckomedelvärde trots årstiden. Kallgaraget, vars tunga betonggolv på marken ger värmekapacitet, håller sig under höst och förvinter torrare än utomhusklimatet, och omvänt förhållande inträffar bara under mars månad.

°C Temp,veckomedelvärden, provstationer



Figur 12

% Rel luftfukt,veckomedelvärden, provstationer



Figur 13

Klimatet i kryprummet uppvisar däremot skrämmande hög luftfuktighet under hela året, särskilt under hösten, då ångtrycket från den värmeackumulerande marken gör sig gällande. Att döma av dessa resultat bör man hellre ordna en ordentlig diffusionsspärr på marken än förstärkt ventilation, som kyler både bjälklag och mark. Under 1966 utlades också en plastfolie så gott sig göra lät under huset. Klimatet har sedan dess blivit torrare i kryprummet men luftfuktigheten är ändå farligt hög under vissa perioder. Risken för kondens är särskilt stor nära socklarna.

Observerade fuktkvoter.

För undersökning av klimatens inverkan på fuktkvoten hos olika skivmaterial har tillverkats ett antal serier provkroppar i format 10 x 10 cm av 13 sorters skivor, varav 5 utvalts som typfall för detaljerad rapportering :

7 mm U-plywood,	svensk furu,	densitet	0,62 g/cm ³
10 mm spånskiva,	hög kvalitet,	"	0,60 "
12 mm byggboard	normal kvalitet,	"	0,63 "
1/4" hård board,	" "	"	0,97 "
1/4" oljeh. board, hög	" "	"	1,02 "

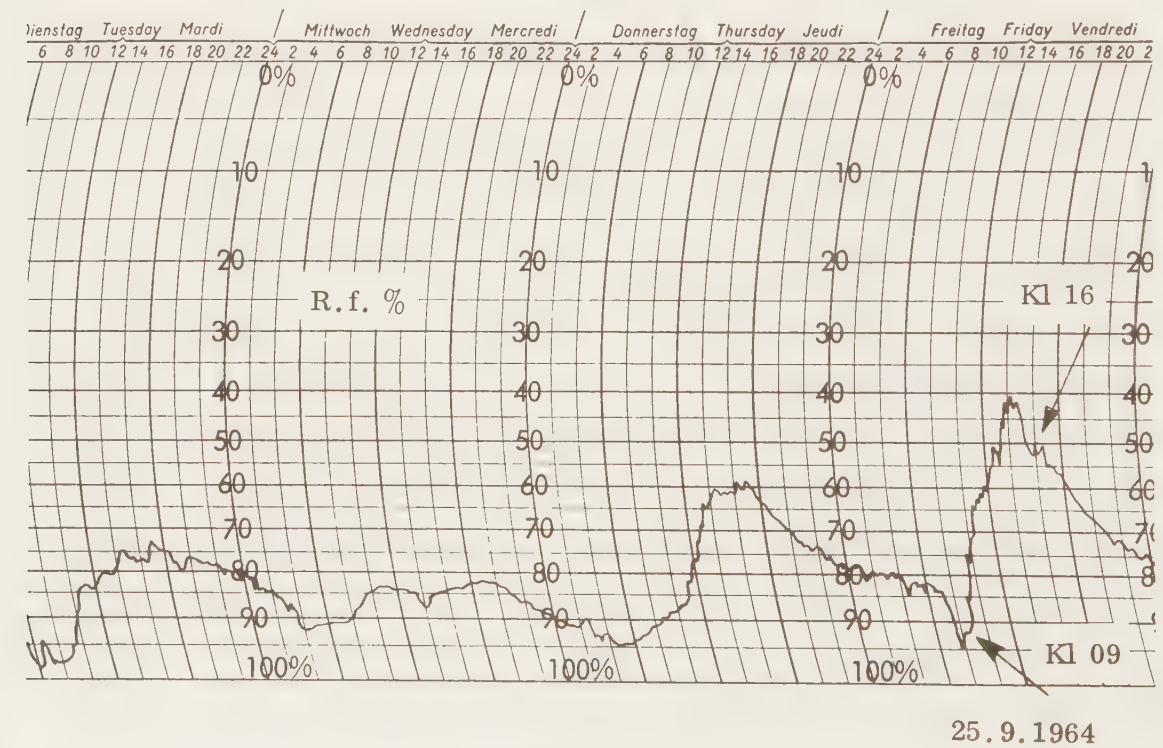
Övriga sorter har medtagits för studium av olika fabrikat och varierande tjocklekar men ger inget principiellt nytt utöver ovannämnda.

Efter grundlig konditionering vid 65 % r.f. 20 °C vägdes alla prover. Där-
 efter utfördes kantförsegling med tiokolmassa på alla provkroppar i 5 satser,
 medan 5 andra omgångar målades med linoljebaserad färg avsedd för träytor
 utomhus. Målningen utfördes som en normal strykning över båda sidor samt
 alla snittytor, vilket medförde en viktökning motsvarande ca 275 g/m² målade yta,
 något mindre för spånskivan och något mer för fiberskivorna p.gr. av dessas vi-
 ramönstrade baksida. Sedan ytbeläggningen torkat under några dygn i oföränd-
 rat klimat och proverna ånyo vägts, utplacerades dels helt omålade, dels kant-
 förslutna och dels målade provsatser vid de 4 klimatstationerna den 7 juli 1964.

Den 5:e satsen prover användes för laboratoriemässig mätning av sorptionshastighet. Slutligen torkades ett par omålade satser vid $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ för bestämning av fuktkvoten vid 65 % r.f., varigenom alla övriga provkroppars torrsvikt kunde kalkyleras.

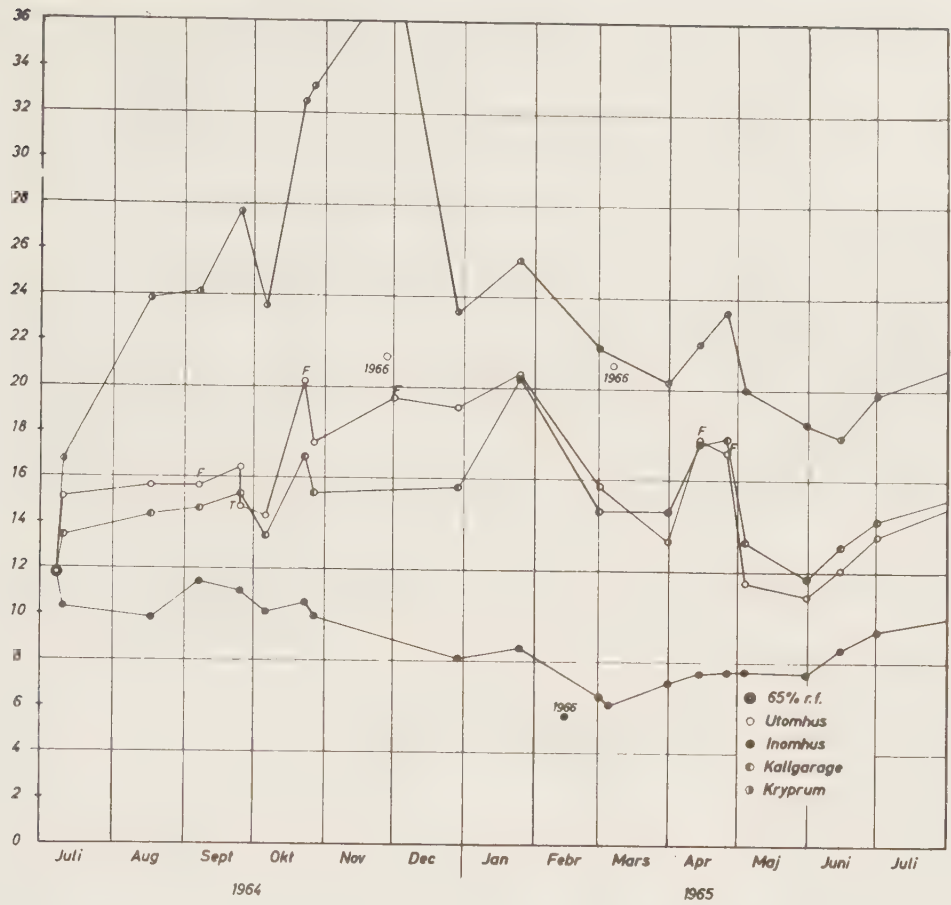
Förändringar i fuktkvot har bestämts då och då, första gången den 10 juli 1964, genom vägning av proverna, som därvid emballerats i plastpåsar för att undvika störningar vid flyttning till våg-rum. Vägning har skett under ett år, som regel varje månad och vid för årstiden någorlunda normal väderlek men dessutom några gånger vid tillfällen av särskilt torrt eller fuktigt väder (sådana mätvärden har i diagrammen markerats med T och F), se figur 15 - 19.

En fuktig period i slutet av september 1964 avbröts plötsligt av en dag med vackert väder den 25.9., figur 14. Tillfället utnyttjades för att studera hur mycket fuktkvoten hos prover utomhus varierar vid så snabba väderomslag : Från 92 % r.f. kl. 09 till 52 % kl. 16 minskade omålade skivors fuktkvot med endast 1 %, d.v.s. praktiskt obetydligt.



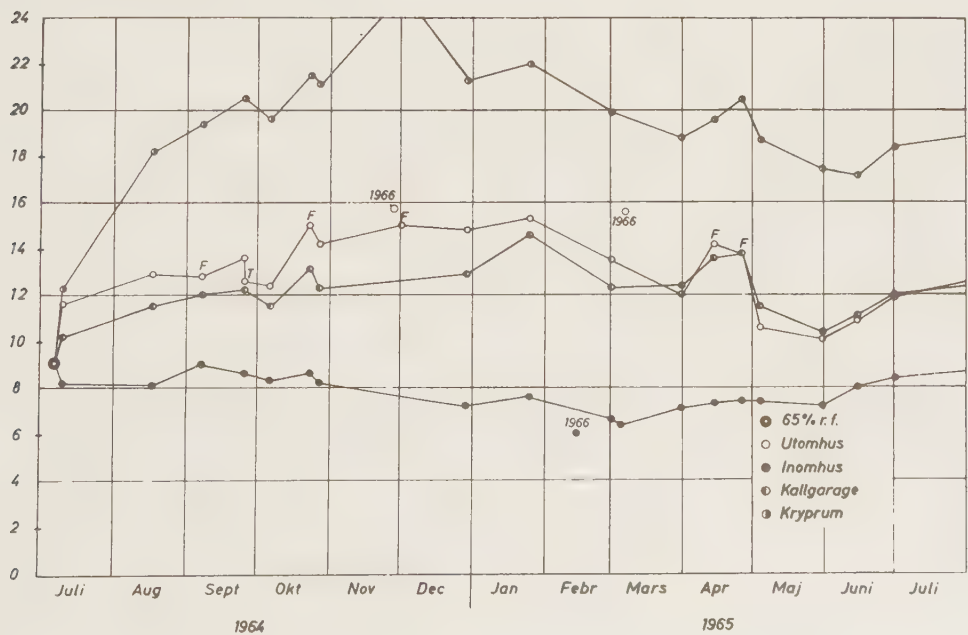
Figur 14

% Fuktqvot hos 7mm U-plywood, omålad

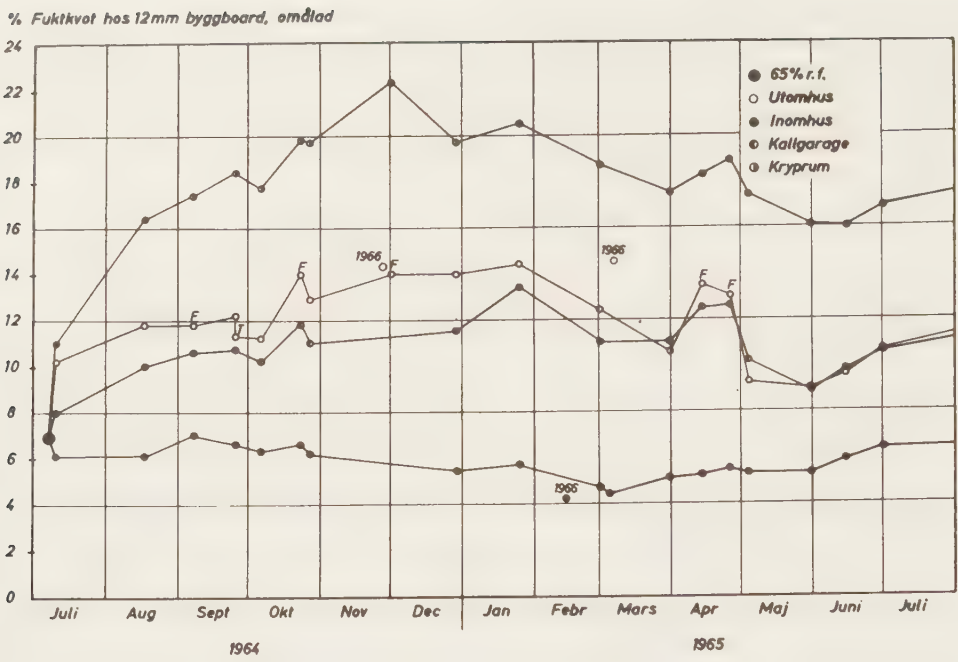


Figur 15. U-plywood

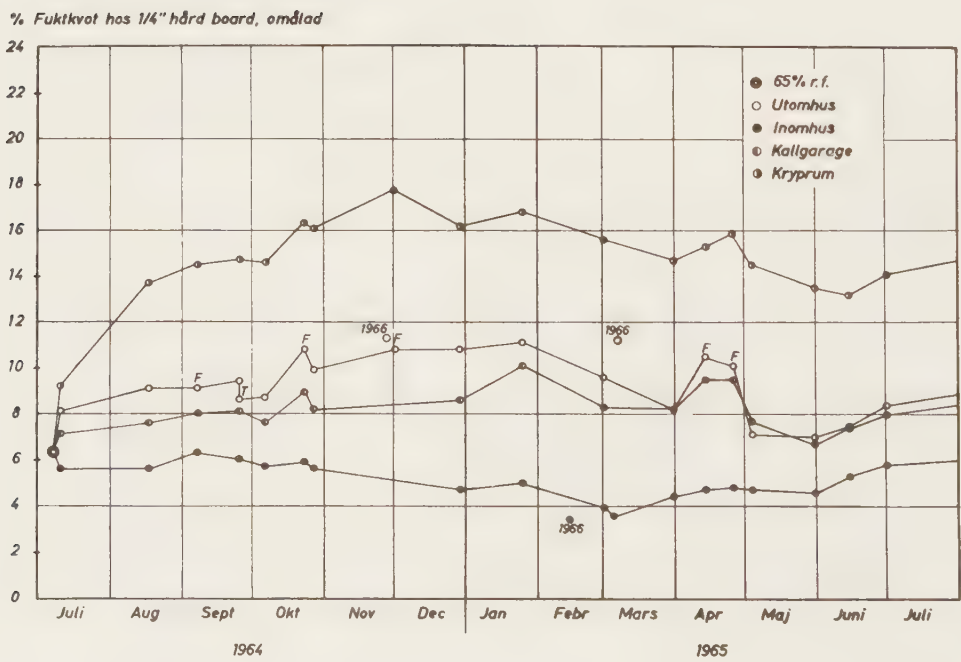
% Fuktqvot hos 10mm spånskiva, omålad



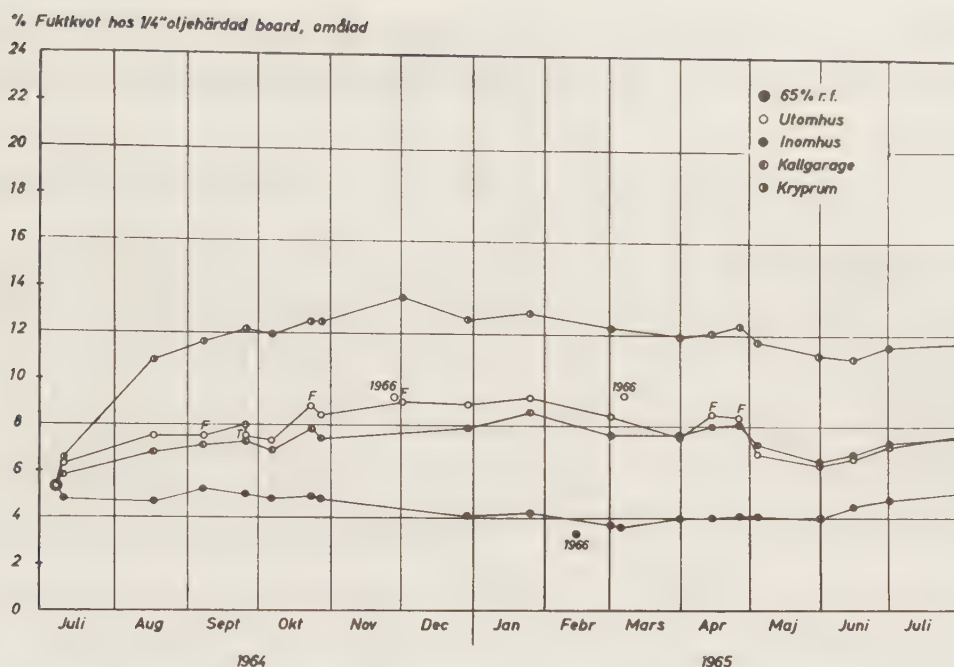
Figur 16. Spånskiva



Figur 17. Byggboard



Figur 18. 1/4" Hård



Figur 19 Oljehärdad

Fortsatta mätningar har sporadiskt utförts från augusti 1965 till december 1966, nämligen vid perioder med extrem väderlek i syfte att få fram praktiskt förekommande gränsvärden.

Vintern 1965 - 66 var alldeles osedvanligt sträng. Efter en råkall, dimmig period i början av mars 1966 uppmättes utomhus höga fuktkvoter. Ungefär samma värden konstaterades vid mätning i slutet av november 1966. Dessa värden har markerats på fuktkvot-diagrammen och ligger båda något högre än maximum för den ursprungliga mätperioden.

Den hårda vintern 1965 - 1966 medförde mycket torrt inomhusklimat. Lägsta uppmätta enskilda värde var 17 % r.f., vilket ofta förekommer i norra Sverige men ligger betydligt under tidigare uppmätt minimum vid mätstationen inomhus i Nyköping, där vintrarna 1958 - 1964 brukat medföra ca 25 % r.f. som tillfälligt minimum. I diagrammen har införts värden för låga fuktkvoter inomhus under köldperioden i februari 1966.

Snömängderna var ovanligt stora, varför våren 1966 blev försenad. Sommar-
månaderna blev regnfattiga men gav ändå icke lägre fuktkvoter utomhus än under
maj - juni 1965.

Veckan 13 - 19 juni 1966 var sällsynt solig och varm såsom visas i fig. 20 a.

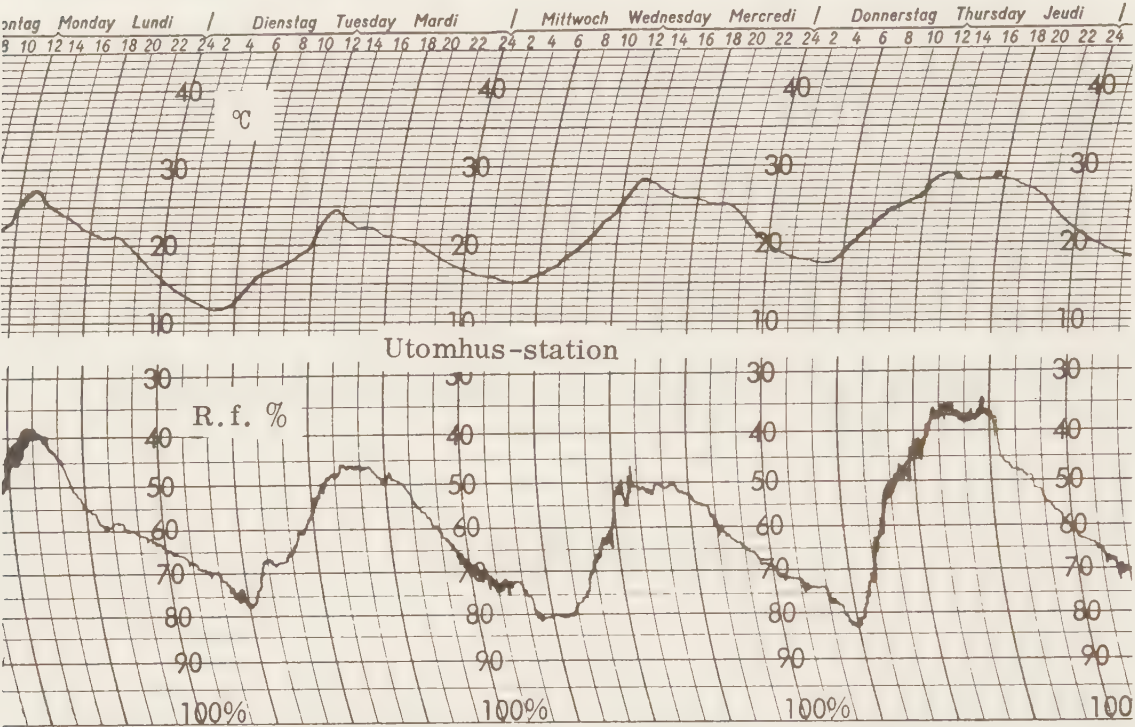


Fig.
20 a

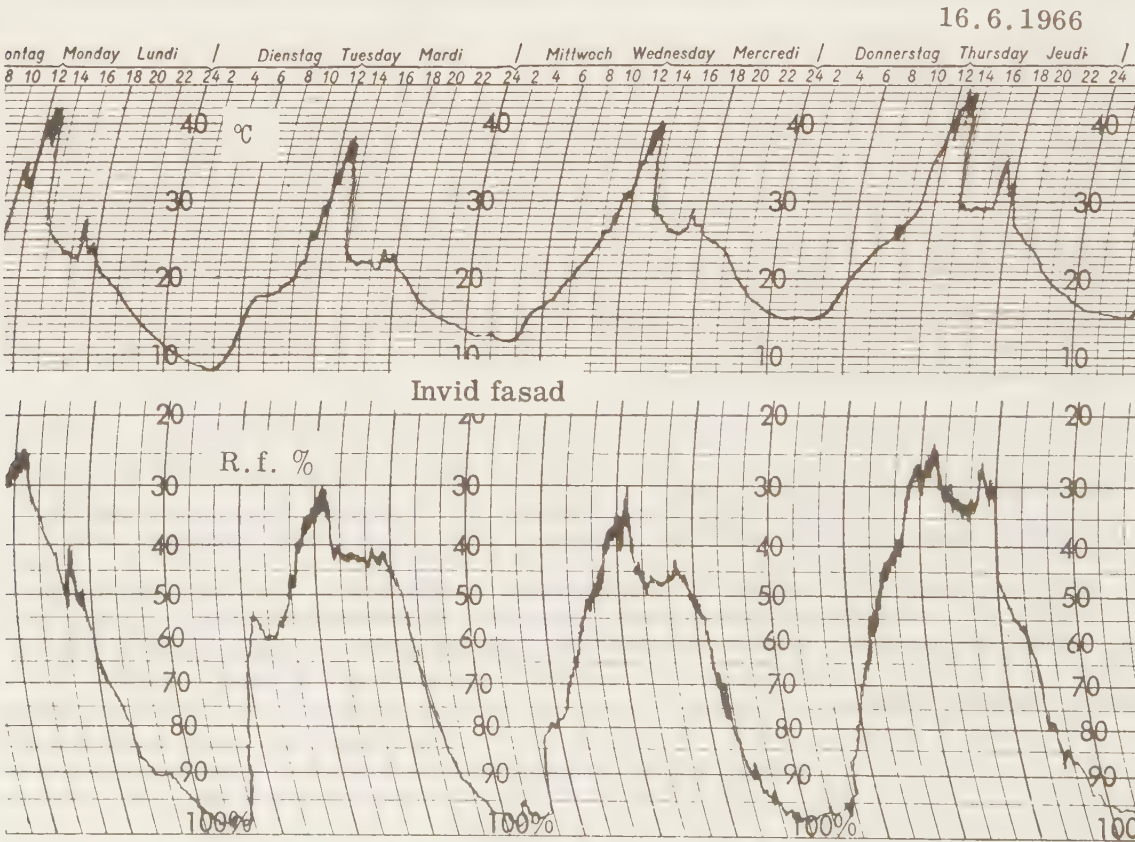
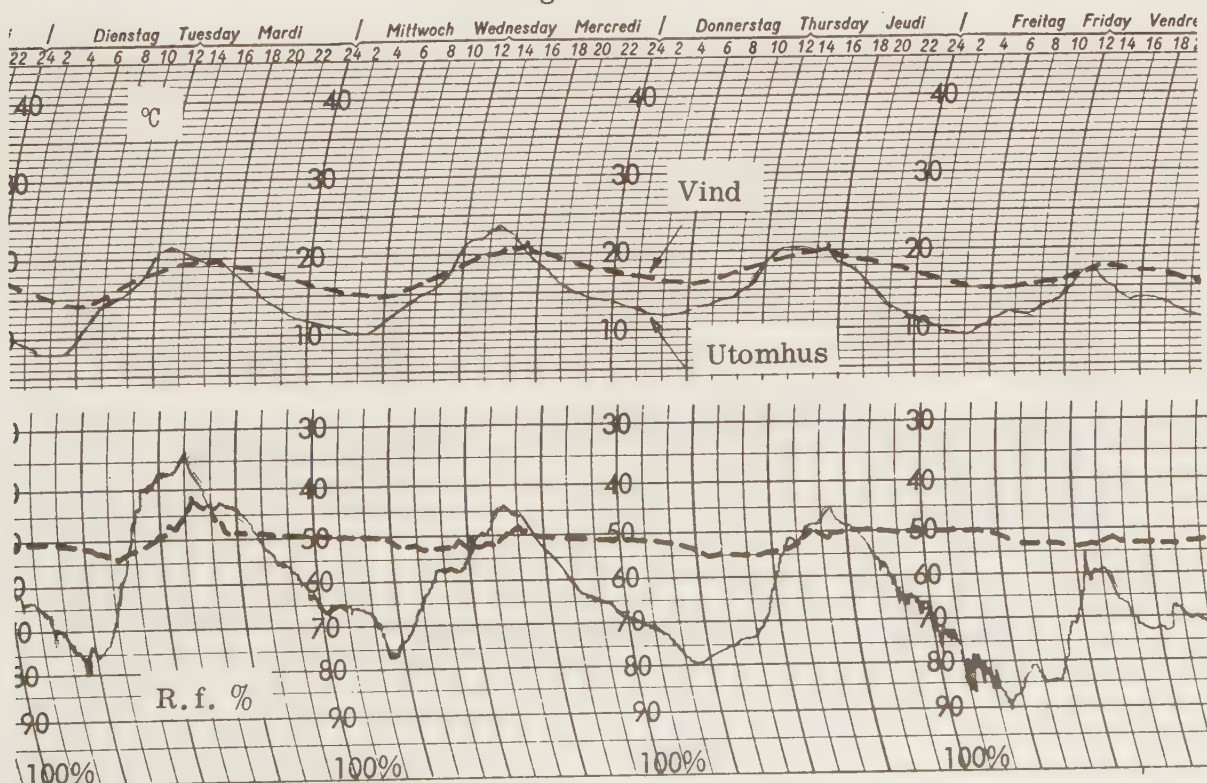


Fig.
20 b

Den 16 juni på f.m. hängdes provkroppar från utomhus-serien upp på en solbelyst fasad, invid vilken temperaturen under dagen nådde $+45^{\circ}\text{C}$ och luftfuktigheten enligt hygrografen sjönk till 25 å 30 %, se fig. 20 b. Provernans fuktkvot uppmättes vid några tillfällen fram till klockan 17 men nådde aldrig lägre än de minimivärden som observerats våren 1965. U-plywood föll från 12,8 till 10,8 % fuktkvot, 1/4" oljehärdad board från 7,1 till 6,4 %. Kraftig solbestralning under någon dag är sålunda icke avgörande för fuktkvoten.

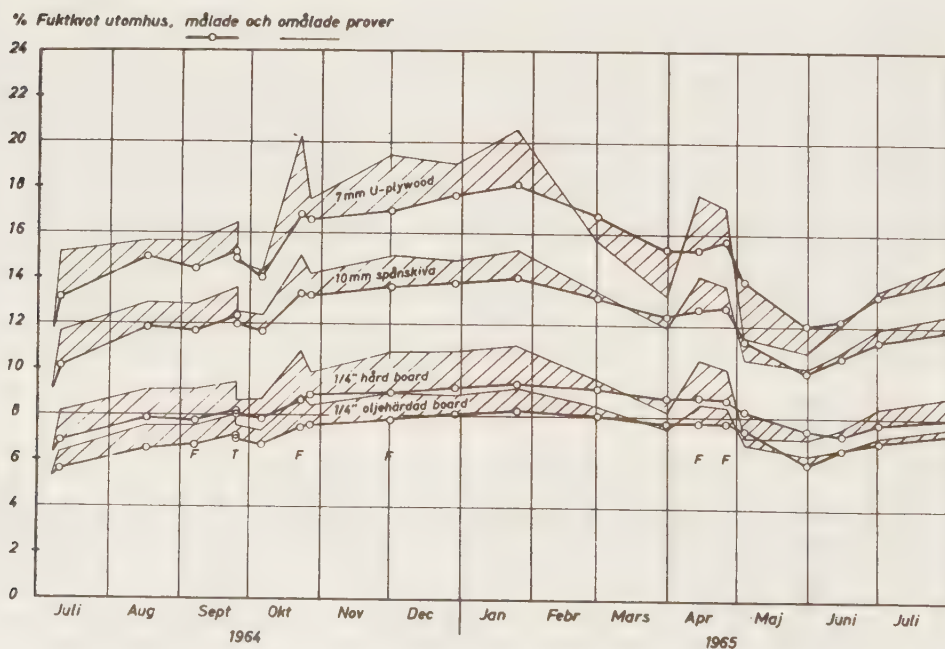
Ingen mätning av fuktkvoter hos skivmaterial har utförts i ouppvärmade vindsutrymmen. Sådana lokaler har vintertid en viss övertemperatur jämfört med utomhusklimatet på grund av värmetransmission från underliggande lokaler, varför luftfuktigheten normalt bör vara relativt låg under den kalla årstiden. Högre värden skulle möjligen kunna förekomma under våren, varför hygrografer placerats på en ouppvärmad vind med takkonstruktion av trä och tegeltäckning. Figur 21 hämtad från 9 - 22 maj 1966 visar dock, att vindsutrymmets klimat varit något varmare och betydligt torrare än utomhus praktiskt taget hela tiden. I ett välbyggt hus blir klimatet på vinden aldrig fuktigt, men om vindsbjälklaget har lågt diffusionsmotstånd eller direkta luftläckor, och ventilationen av vindsutrymmet samtidigt är dålig, kan naturligtvis farliga klimat uppkomma vintertid. / 8 9 /.

Figur 21



Fuktkvot-diagrammens kurvor och tillhörande sifferuppgifter i texten har gällt omålade skivor. Mätningar har dock i samma omfattning utförts på kantförseglade och målade provkroppar. Jämförelsen av resultat för de tre typerna skall här begränsas till några väsentliga punkter :

- a/ Fuktkvoterna hos helt omålade och kantförseglade provkroppar har följts åt med små avvikelser, maximalt 0,3 - 0,5 % beroende på skivmaterial.
- b/ I lokaler med långsamma fuktförändringar inverkar naturligtvis ej kantförsegling och knappast heller målning på fuktkvoten.
- c/ Vid mätstationen utomhus har iakttagits särskilt stora skillnader i fuktkvot mellan omålade och målade prover såsom visas i fig. 22. Målningen har medfört väsentligt ökad fukttröghet, som effektivt dämpar inverkan av alla kortvariga klimatväxlingar. Men även i medeltal håller sig de ytbehandlade proverna torrare. Detta kan bero på att målningen förhindrar snabb fuktkondensation i skivorna vid temperaturväxlingar kombinerade med hög luftfuktighet. Dessutom har målningen impregnerat ytligt liggande fibrer och därmed minskat dessas hygroskopicitet, vilket bekräftas av absorptionsprov i laboratoriet, se fig. 32.

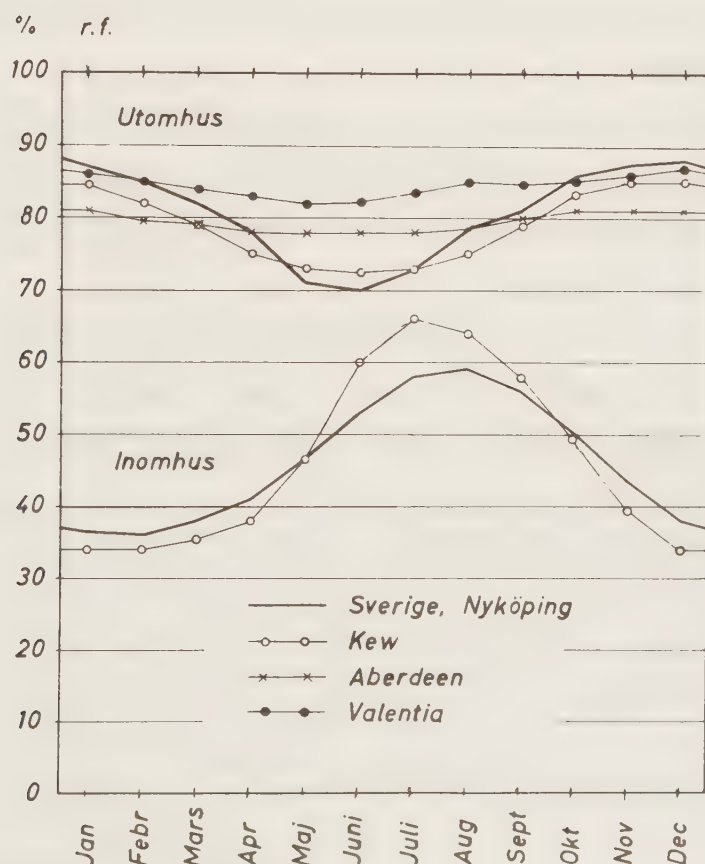


Figur 22

Klimat utomlands.

Med tanke på skivornas användning utomlands, i första hand inom Europa, bör man försöka bedöma hur mycket högre luftfuktigheten är i områden kända för särskilt fuktigt klimat. Eftersom svensk board i stor utsträckning exporteras till de brittiska öarna, har några uppgifter om klimatet där inhämtats från vissa mätningar utförda i London av Engelska Arbetsministeriet. Publikationen 'Moisture in Textiles' /10/ har givit underlag för figur 23, som redovisar månadsmedelvärden för relativ luftfuktighet i Aberdeen och orten Kew (belägen inne i landet nära Sheffield) i jämförelse med Nyköpings officiella värden 1871 - 1920. Överraskande nog ligger de svenska värdena högst. Icke ens klimatuppgifter från den lilla ön Valentia utanför sydvästra delen av Eire visar stor avvikelse från svenska värden. Under sommaren blir dock luftfuktigheten högre där och i England än i Sverige både utom- och inomhus. Vintertid tycks klimaten

Figur 23



vara nästan lika torra inomhus, vilket måste bero på att engelska bostadshus i allmänhet är otäta och medger större luftväxling än de svenska. Som framgår av mollierdiagrammet i figur 4 erhålles endast 25 % r.f., när luft av 100 % r.f. vid 0 °C uppvärms till 20 °C utan ändring av det absoluta fukttinnehållet.

Klimatuppgifter för Oslo /11/ under åren 1901 - 1930 visar maximum 85 % r.f. under november - december, vilket är något torrare än Nyköping men överensstämmer med Göteborg. Minimum inträffar i maj - juni med 65 % r.f., vilket är torrare än för de flesta svenska orter.

Sammanfattning.

Utomhus växlar den relativa luftfuktigheten i Sverige mellan ca 30 och 98 % som kortvariga gränsvärden samt ca 60 och 90 % som månadsmedelvärden. Maximum uppnås i december, minimum i juni. I ouppvärmda lokaler såsom kallgarage och vindar håller sig klimatet något torrare än utomhus, men i kryp- rum under källarlösa hus är luftfuktigheten åtminstone tidvis mycket hög och når farliga värden.

Fuktkvoternas säsongsmässiga variationer utomhus och i olika lokaler inomhus har uppmätts för plywood, spånskivor och träfiberskivor av skilda kvalitéer. Överraskande låga maximivärden har noterats utomhus. Resultaten bedömes närmare i ett senare kapitel.

De brittiska öarnas erkänt fuktiga klimat har visat sig hålla högre rel. luftfuktighet än det svenska endast under sommarmånaderna, varför beräkningar baserade på svenska förhållanden bör kunna användas över större delen av Europa.

Frågor om sorptionshastighet, diffusionsmotstånd och fuktjämvikt diskuteras mer ingående i kapitel 4, men redan nu redovisade mätvärden tyder på att området 30 - 90 % r.f. täcker normala klimat. Provningsmetoder avseende skivornas hygroskopiska egenskaper bör avpassas därefter. Man kan invända, att luftfuktigheten inomhus varierar mindre, vanligen 30 - 70 % r.f., men dels förekommer lägre månadsmedelvärden än 30 % i områden med kallt klimat, dels kan skivor monterade inomhus exponeras för hög luftfuktighet om byggnaden tillfälligt står oeldad.

4. SORPTION OCH FUKTRÖRELSER.

I och för sig har uppgifter om fuktkvoter underordnat intresse, däremot har fuktens följdverkningar i form av fuktrörelser och förändrade mekaniska egenskaper direkt betydelse. Föregående kapitel har redovisat hur variationer i luftfuktigheten inverkar på fuktkvoten hos vissa skivor, men man måste också beakta den effekt som tillfällig vattenbegjutning kan ha på materialen.

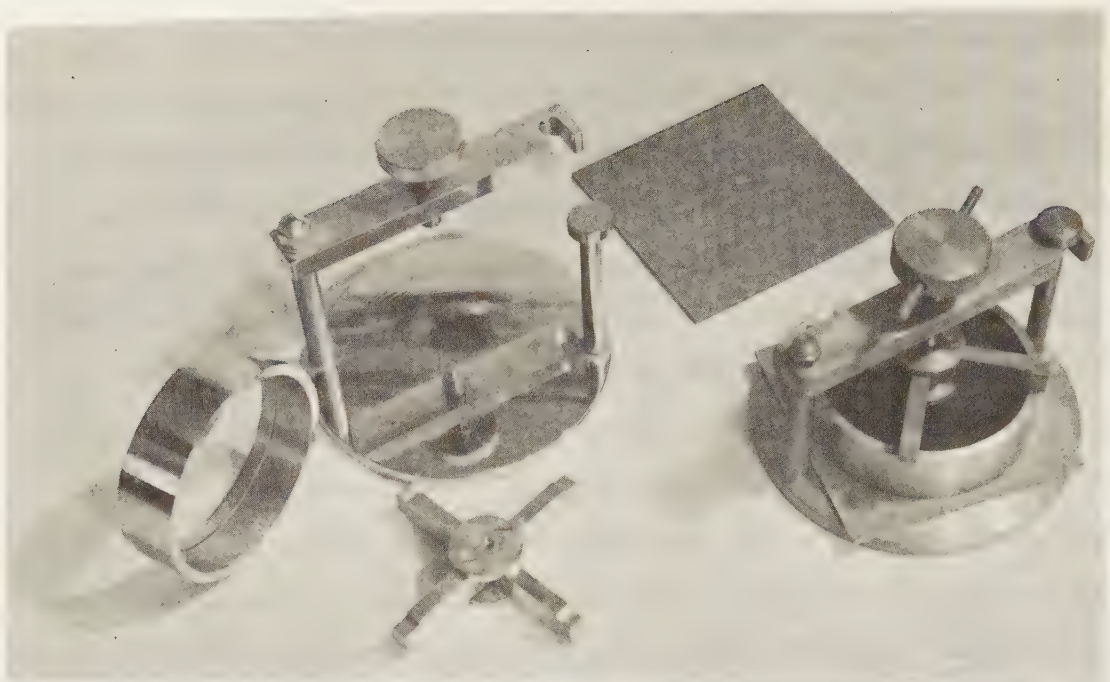
Innan de praktiska konsekvenserna av fuktrörelser diskuteras i ett senare kapitel och anvisningar lämnas om hur fogning, buckling etc. kan behärskas, måste frågorna om sorption och fuktrörelser studeras utförligt och renodlat. Fuktens inverkan på dessa fibrösa skivmaterial är nämligen mer komplicerad än man i allmänhet föreställer sig, och ganska djupgående kunskaper fordras för att man skall kunna förstå - och helst förutsäga - samspelet. Sådan insikt fordras också vid utformning av lämpliga provningsmetoder, och dithörande frågor upptager därför en betydande del av kapitlet.

Vattenabsorption, provningsmetoder.

Tre olika principer kan tillämpas vid mätning av skivors vattenabsorption. Provningsmetoden kan inriktas på bestämning av

- a absorption hos provkroppens sidor
- b " " " snittytor
- c kapillär sugning genom snittyta.

Enligt metod a, som ursprungligen har utvecklats av R M Cobb för pappersprovning, bestäms den enkelsidiga absorptionen med hjälp av en s.k. Cobb-apparat, figur 24, bestående av en metall-ring som spännes fast mot provkroppens yta och därefter fylls med vatten till viss höjd, lämpligen 10 mm. Efter viss tid avhålls vattnet, cylindern borttages, provkroppen avläskas och dess viktökning bestäms som $g/100\text{ cm}^2$, d.v.s. den fria invändiga area ringen bör ha.



Figur 24 Cobb-apparater för skivor.

Mätmetoden kan nog anses vara den bästa av de tre ovannämnda eftersom den dels ger entydiga resultat, dels möjlighet att studera en sida i taget hos skivor, som numera ofta är avsiktligt osymmetriskt uppbyggda.

Problemet med Cobb-metoden är av praktisk art, nämligen att åstadkomma tätning mellan cylinder och provkropp, vars yta kan vara ojämn, t.ex. viramönstrad. Laboratoriet har vid de första försöken 1958 använt ringar med anliggningskanten svarvad till skarp egg men genast gått ifrån detta utförande, som ej ger tätning mot t.ex. porös board samt medför kanteffekt p.gr. av eggens nedstukning av ytmaterialet. Med en tunn och smal gummipackning erhålles bättre tätning, men packningars formförändring påverkar den exponerade ytans storlek. Fortsatta provningar har emellertid visat, att ringen med fördel kan göras med plan, skarpkantad och ca 0,5 cm bred anliggningsyta och ändå ge fullgod tätning både mot porös board och virasida hos hård board om nämligen ringen då och då belägges med ett ytterst tunt lager av silikonolja, som förhindrar kapillär vandring. Om ringen utföres av lämpligt material, t.ex. sintrad metall, kan den permanentbehandlas med silikonoljor enligt de metoder som utvecklats för bl.a. elektriska isolatorer.

Provning enligt b ovan eftersträvas vid provning av spånskivor, SIS 23 48 01, varvid provkropparna göras så små, 2,5 x 2,5 cm, att absorptionen vid snittytor-na blir helt dominerande, särskilt om sidorna är fuktspärrade med t.ex. plastla-minat. Detta prov syftar emellertid i första hand till bestämning av absorptionens följdverkan, d.v.s. den lilla provkroppens tjocklekssvällning, som är ett väsent-ligt mått på just spånskivors kvalitet.

Metod c är relativt okänslig och användes bara för material med stor absorp-tionsbenägenhet, t.ex. porös board. Provet som efterliknar vattenuppsugning vid nederkanten av fasadbeklädnad, den s.k. droppnäsan, /12/ kan arrangeras så, att remsor av skivmaterialet upphänges vertikalt och med nedre änden i kontakt med en vattenyta. Efter viss tid mätes provkroppens viktökning samt den höjd till vilken vatten uppsugits. Stighöjden kan vara olika vid de två ytskikten och mittskiktet.

Vid traditionell provning av board användes emellertid icke någon av de tre ovan beskrivna metoderna utan en mättekniskt bekväm kompromiss mellan a och b, nämligen doppning av provkroppar i större format. Absorptionen hos de re-lativt stora sidoytorna blir normalt dominerande, men snittyternas inverkan blir beroende av skivornas tjocklek och art. För porös board med särskilt vatten-sugande mittskikt kan absorptionen genom kanterna t.o.m. bli större än genom sidorna. För 1/8" hård board är kanteffekten ca 20 % av den totala vätningen.

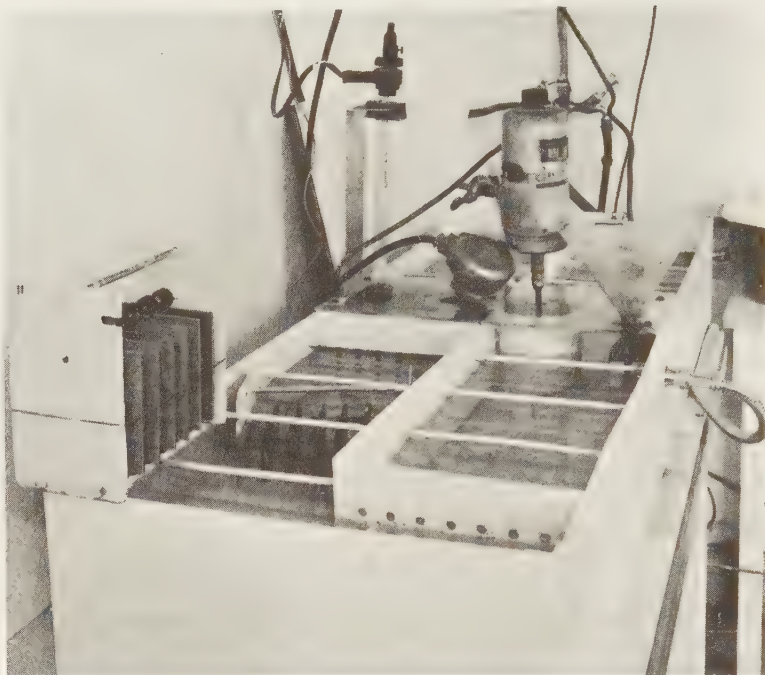
Enligt tidigare svensk praxis användes 15 x 15 cm provkroppar som lagra-des horisontellt ca 2,5 cm under vattenytan. British Standard 1142 rekommenderar fortfarande sådan placering av provkropparna men med formatet 8" x 4". Eftersom båda dessa förfaranden kräver stort utrymme, föredrages emellertid numera vertikal doppning, och sådan anvisas också i det ISO-förslag som ligger till grund för SIS 23 51 05, förslagsutgåva 1, vari f.övr. föreskrives formatet 10 x 10 cm, figur 25. Även lagring i 45° lutning har diskuterats /13/.

En provkropp 10 x 10 cm av 1/8" board väger ca 30 g, och dess vikt skall enligt normen bestämmas före och efter doppning på 0,1 g. Detta motsvarar en noggrannhet hos den beräknade absorptionen av storleken 0,1 : 30, d.v.s.

0,3%. Till denna osäkerhet kommer ungefär lika stora systematiska eller tillfälliga fel vid provkropparnas avläskning. Ändå anvisas i normen, att redovisning av absorptionen skall ske i % med en decimal, vilket bör ändras.

Figur 25

Låda för vattendoppning. T.v. kassett med provkroppar. Vid lådans mitt finns vattentillförsel, bräddavlopp, cirkulationspump, kontakttermometer och doppvärmare.



Svällning, provningsmetoder.

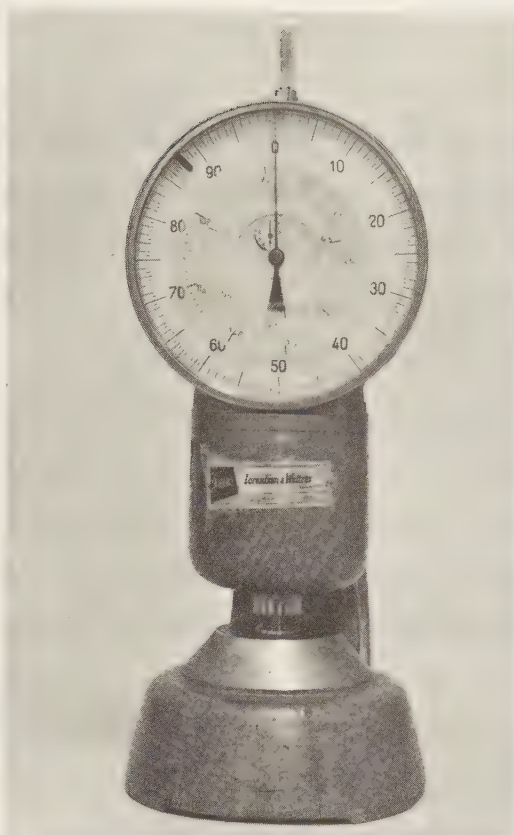
I samband med vattendoppning mätes provkropparnas tjocklekssvällning, dock utelämnas sådant prov helt av BS 1142. Enligt SIS 23 51 02 och 23 51 05 skall mätning ske vid fem ställen på varje provkropp, nämligen i mittpunkten samt i punkter belägna 25 mm från vardera av två angränsande kanter. Mot detta kan anmärkas dels att ingen nu marknadsförd tjockleksmätare med föreskrivna data når in till mittpunkten, dels att mätning i denna komplicerar rutinen utan att tillföra mätningen något väsentligt nytt resultat. Skulle svällningen i något fall verkligen vara annorlunda i mittpunkten än närmare kanterna, så utnyttjas ej denna observation eftersom normen anvisar rapportering av aritmetiska medelvärdet för de fem mätställena !

Not : Sedan författaren under många år kritiserat mätning i mittpunkten, har ISO i oktober 1967 beslutat att denna punkt skall utelämnas.

Figur 26 a

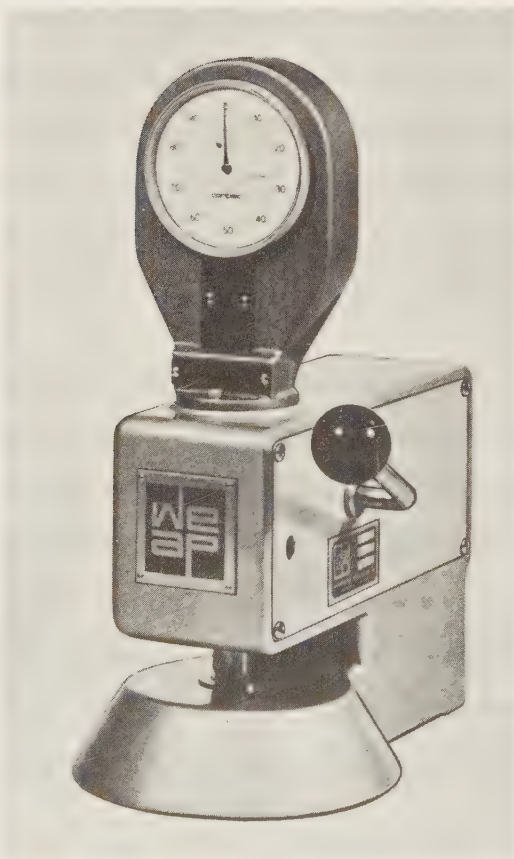
AB Lorentzen och Wettres Maskinaffärs tjockleksmätare (egentligen avsedd för papper) ger yttrycket 1 kp/cm^2 och når ej mittpunkten på provkroppar $10 \times 10 \text{ cm}$.

Laboratoriet har monterat en hjälpskala för direkt avläsning av uttrycket $\frac{3\ell}{2b \cdot t^2}$, som användes vid uträkning av böjhållfasthet.



Figur 26 b

Wennberg Apparater AB har under 1967 presenterat en ny mätare, som medger normenlig mätning av board.

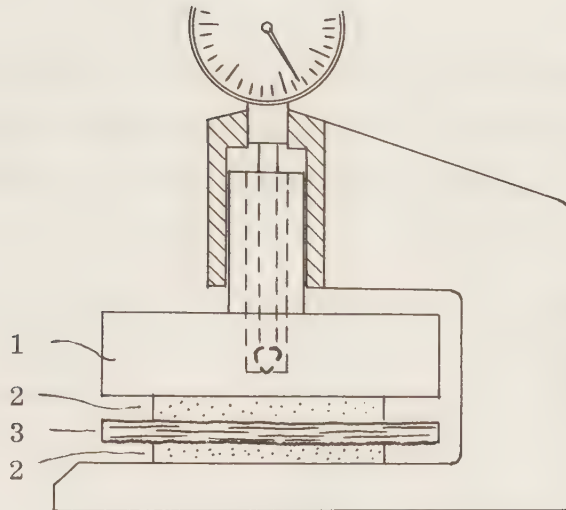


Enligt SIS-förslaget skall användas en mikrometer med största avvikelse 0,01 mm. Vid tjockleksmätning skall avläsning ske på 0,01 mm för högst 7 mm tjocka skivor och 0,05 mm för tjockare. Med 1/8" board, d.v.s. den vanligaste tjockleken, blir noggrannheten vid bestämning av tjocklekssvällning $ca\ 0,01 : 3,2 = 0,3\ \%$ men den skall enligt normen anges i % med en decimal. För 1/2" porös board blir noggrannheten $0,05 : 12,5 = 0,4\ \%$, och resultatet skall även där rapporteras i % med en decimal ! Det förefaller en smula orealistiskt att mäta tjockleken hos tämligen skrovliga och efter vattendoppning mjuknade skivor på 0,01 mm och sedan ange svällningen med ännu större precision ! Dessutom vore det nog mer vägledande att ange svällningen i mm i stället för % eftersom det absoluta värdet är praktiskt intressantare än det relativa, och det sistnämnda ej ens har fördelen av att vara oberoende av skivans tjocklek.

SIS 23 51 02 specificerar utförligt hur kontaktytorna skall vara beskaffade på mikrometern för tjockleksmätning. Särskilt framhålles kravet på parallellitet. Eftersom träfiberskivors ytor alltid är ojämna dels p.gr. av nätmönstret från viradukar, dels ojämn filtning hos fibern (s.k. fiberknutar), kan man utgå ifrån att ovannämnda kontaktytor vanligen får en begränsad anliggning mot boarden, samt att graden därav slumpvis förändras, när boardens ytjämnhet försämras under vattendoppning. Vid vertikal doppning sväller de flesta skivor också mest vid nedre kanten. Rent allmänt måste tjockleksmätning punktvis ge en relativt sämre bild av dimensionsförändringar än en längdmätning, som i sig automatiskt innefattar alla lokala kvalitetsvariationer inom den mätta sträckan.

Resonemanget utmynnar i önskan att kunna avkänna tjockleken och dess ev. förändringar i varje punkt hos provkroppen och direkt med en enda mätning få ut medelvärdet. I detta syfte har på laboratoriet konstruerats en ny typ av tjockleksmätare, som radikalt skiljer sig från vanliga mikrometrar och förefaller vara både principiellt riktigare, billigare och snabbare än dessa. Apparaten visas schematiskt i figur 27. Kontaktytorna består av lätt utbytbara ca 0,5 cm tjocka svampgummikuddar med slutna porer. Presstrycket alstras av en vikt, som lämpligen kan avpassas att ge $0,2\text{ kp/cm}^2$. Hastigheten vid pålastningen behöver

knappast dämpas på samma sätt som för vanliga mätare med hårda kontaktytor.



Figur 27 Tjockleksmätare med gummikuddar.

- 1. Vikt
- 2. Gummikuddar
- 3. Provkropp

Apparatens mätur nollställes på vanligt sätt, d.v.s. vid slutet mätgap utan inlagd provkropp. Därvid komprimeras gummikuddarna något, men samma kompression erhålles i medeltal över ytan, när ett måttligt ytojämnt prov inlägges. Resonemanget förutsätter att svampgummit har en bestämd fjäderkonstant, alltså rak elasticitetskurva inom mätområdet, så att Hooks lag gäller. Att döma av utförda prov tycks detta villkor vara uppfyllt i tillfredsställande grad tack vare de slutna porerna.

Gummikuddarnas storlek har i första hand valts sådan, att provkroppens kvadratiska yta täckes utom en 1,25 cm bred fri kant runt om, där vattendoppning normalt medför en extra svällning. Inget hindrar emellertid, att gummikuddarnas

yta utsträcker ända till provkroppens kanter, vars svällning i så fall kommer att inräknas i medelvärdet. Likaså kan man tänka sig, att kontaktytan formas som en ram, vilken endast mäter svällningen närmast kanterna. Man bör dock undvika alltför smala mätytor ty vid anpressning erhåller gummit vid sina kanter en liten utstukning i sidled. Dock förekommer sådan även vid nollställning, vilket reducerar felet.

Den nya apparaten har under någon tid jämförts med den traditionella vid laboratoriets rutinmässiga mätningar. Följande tabell visar typiska resultat under den första tiden. Varje tjocklek avser medelvärde för 16 provkroppar.

Boardsort	Tjocklek mm före doppning			Tjocklek mm efter doppning		
	Vanlig mätare	Ny mätare	Diff.	Vanlig mätare	Ny mätare	Diff.
A	3,53	3,53	0	4,04	4,03	- 0,01
B	3,25	3,25	0	3,66	3,64	- 0,02
C	3,53	3,51	- 0,02	3,72	3,68	- 0,04
D	3,57	3,53	- 0,04	3,76	3,70	- 0,06
E	3,48	3,47	- 0,01	4,10	4,10	0
F	3,47	3,47	0	4,04	4,02	- 0,02
G	3,41	3,41	0	3,87	3,85	- 0,02
H	3,23	3,23	0	3,77	3,76	- 0,01
I	3,32	3,31	- 0,01	3,95	3,97	+ 0,02
K	3,32	3,30	- 0,02	3,74	3,71	- 0,03

Sorterna C D och K har ovanligt grovt nätmönster på baksidan, där gummi-kuddarna sjunker ner och alltså mäter mindre totaltjocklek än hårda kontaktytor, som stannar mot viramönstrets högsta toppar. Man kan diskutera vilket som är riktigast, men skillnaden elimineras fullständigt om en 0,2 mm mjuk plastfolie lägges på ytan av svampgummit, som då ej sjunker in i mönstringen. Den nya mätaren anger i allmänhet något lägre tjocklek hos vattendoppade prover, vilket beror på att den icke registrerar enstaka fibrer, som kan ha rest sig ur ytan vid blötningen, eller allmänt försämrade ytjämnhet.

Absorption och svällning, inverkan av tid och temperatur.

Absorptionshastigheten hos board har tidigare undersökts i olika sammanhang, och för vissa enkla, renodlade fall såsom Cobb-provning av slätsida hos hård board av standardkvalitet har regler kunnat uppställas. / 14 /. Vid doppning blir förloppet givetvis mer komplicerat p.gr. av skivornas oliksidighet samt inverkan av snittytor. Emellertid är själva absorptionen och dess hastighet av mindre intresse än följdverkningarna, och dessa utvecklas ej alltid i samma takt. Sedan skivans porvolym vattenfyllets, vilket kan gå mer eller mindre snabbt, fortsätter den egentliga absorptionen i fibrerna under lång tid.

Fig.
28 a

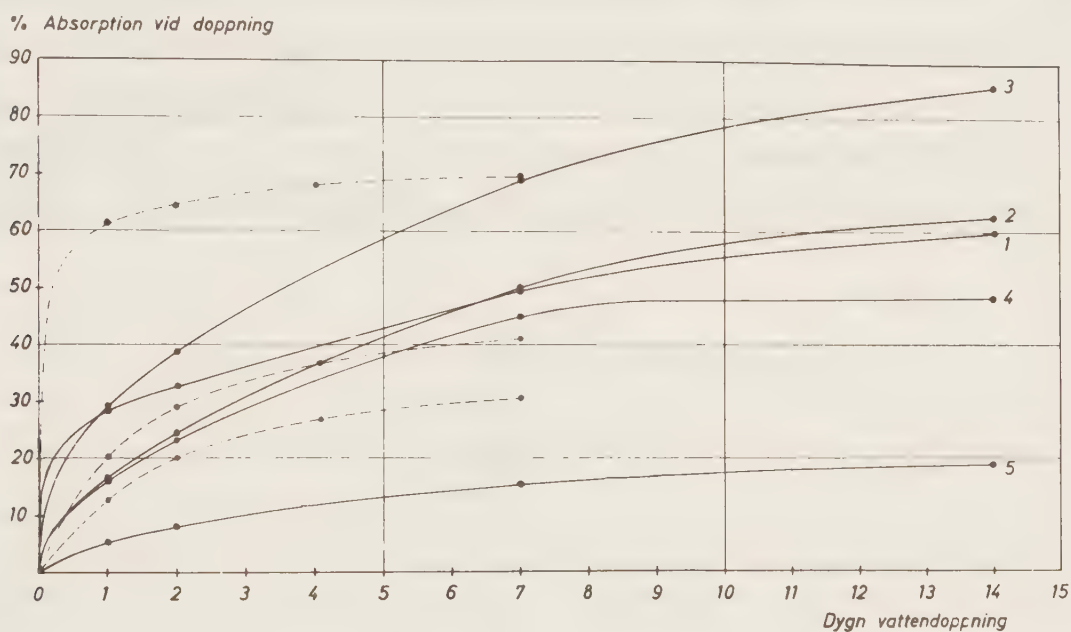
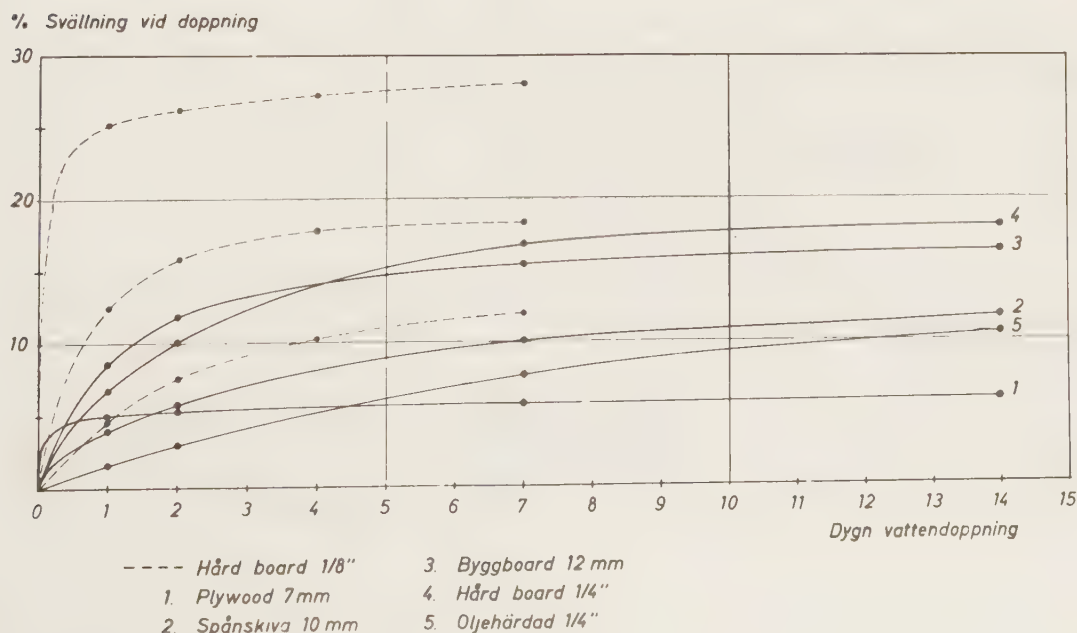


Fig.
28 b

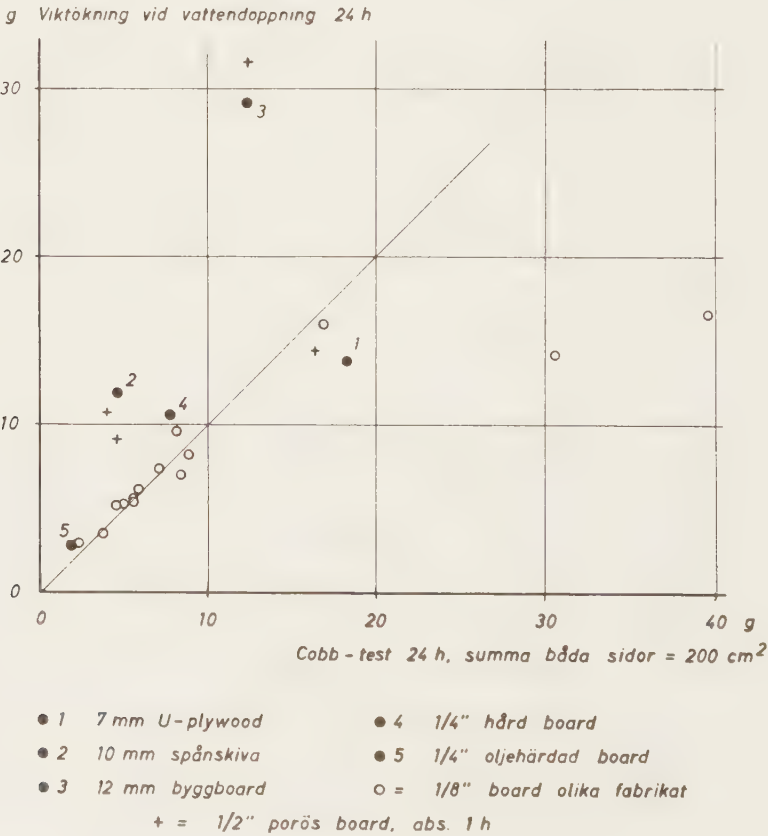


Man kan icke nämnvärt påskynda svällningen genom att mekaniskt pressa eller suga in vatten, knappast heller genom tillsats av vätmedel. Figur 28 a och b visar vattenabsorption och tjocklekssvällning vid doppning av tre sorters 1/8" hård board med markant olika absorptionshastighet. Även den snabbast vattensugande fordrar mer än 7 dygn för att nå jämvikt. Diagrammen ger också absorptions- och svällningskurvor för de fem tjockare skiv-typer som redovisats vid klimatmätningarna.

Cobb-provning av board har ännu ej varit föremål för normering inom ISO, varför inga anvisningar finnas om absorptionstiden. Vid laboratoriet har använts 1 h för porös board samt 2 och 24 h för hårda skivor av olika slag. Den längre tiden medför i enstaka fall genomblötning av tunna skivor (1/8"), men endast om deras absorption är onormalt hög, d.v.s. över 30 % vid doppning.

Figur 29 visar absorptionen vid doppning i jämförelse med summan av de två sidoytornas absorption vid Cobb-provning. Förutom de fem 'typ-skivorna'

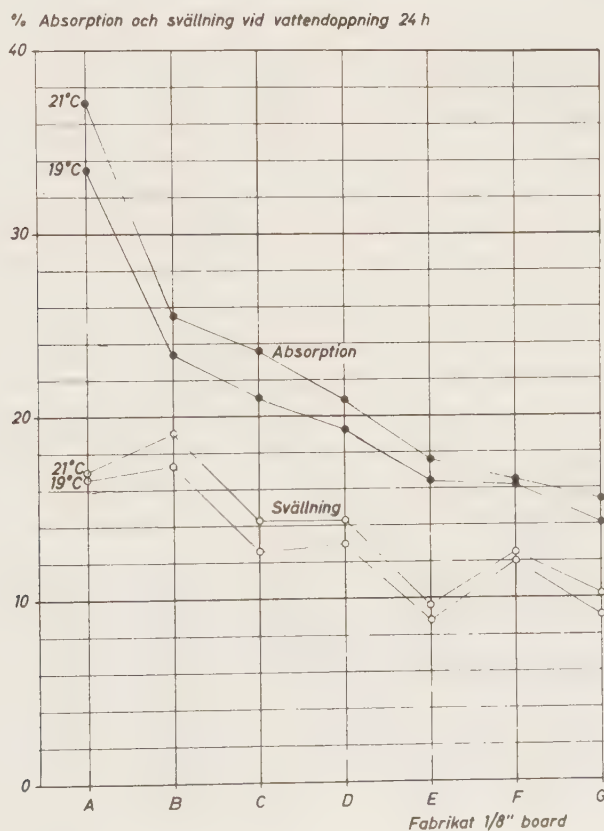
Figur 29



har inritats värden för några slumpvis uttagna prover av 1/8" hård och 1/2" porös board. I de flesta fall har absorptionen blivit större vid doppning än vid dubbel Cobb-provning, vilket givetvis beror på kanteffekten, särskilt utpräglad vid spånskiva, byggboard och porös board. Omvänt förhållande visar plywood, vars fanér-sprickor medger vattenspridning i sidled under Cobb-ringen, samt några 1/8"-prover med så hög absorption att tendenser till genomblötning åtminstone från endera sidan förefunnits.

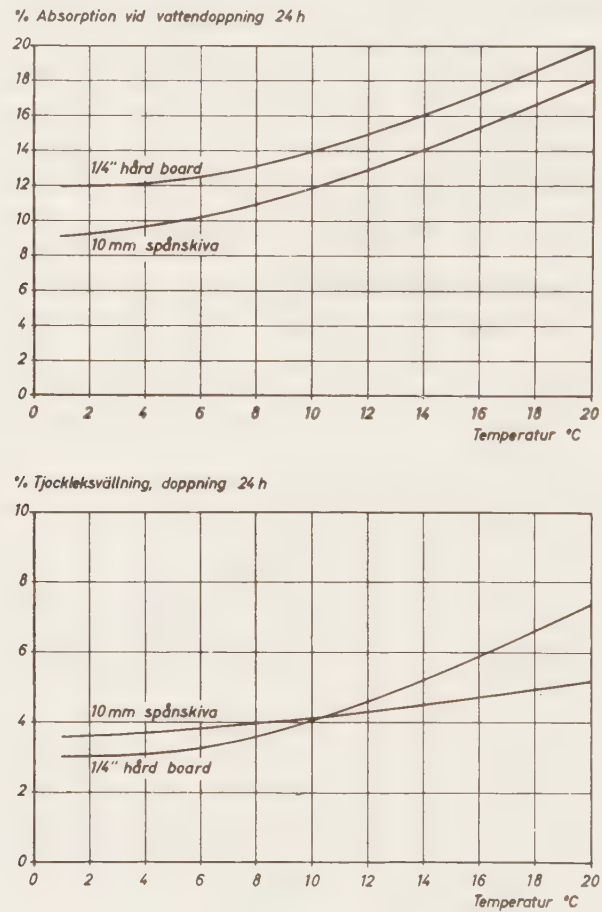
Enligt SIS 23 51 05 skall vattnet vid doppning vara 20 ± 1 °C. För att se hur stora fel i absorption och svällning toleransen ± 1 °C kan medföra, har en jämförande provning utförts av ett antal typiska sorter 1/8" hård board vid 19,0 och 21,0 °C. Resultaten redovisas i figur 30. 1 °C temperaturavvikelse ändrar absorptionen med i medeltal 0,9 % och tjocklekssvällningen med 0,5 %. Dessa marginaler skall adderas till de på sid 3 nämnda, vilket gör den anbefallda rapporteringen i % med en decimal ytterligare orealistisk.

Figur 30



Man vet av erfarenhet, att absorption och svällning sker oerhört mycket fortare i kokande vatten än vid rumstemperatur, samt att ljumt vatten droppande från otäta radiatorventiler har snabb och förödande effekt på spånskivegolv. Men det kan också vara intressant att bedöma hur kallt regn och smältande snö inverkar, varför doppning utförts i vatten med låga temperaturer. Figur 31 redovisar stor temperaturinverkan på absorptionen efter 24 h, men efter längre tid uppnås troligen en utjämning. Skillnaden ligger med all sannolikhet i absorptionshastigheten och ej i den slutliga jämvikten.

Figur 31
Temperaturens
inverkan på ab-
sorption och
svällning



Ytterligare en faktor inverkar markant på absorption och svällning, nämligen vattnets pH, varför normen fastlägger värdet till 6 ± 1 . Höjning av pH över värdet 7 medför snabbt ökande absorption. Destillerat vatten kan användas, men eftersom successivt vattenbyte är önskvärt både för temperaturreglering och

bortforsling av utlösta substanser från provkropparna, föredrages vattenledningsvatten. Normen anvisar tyvärr icke vare sig vattenväxling eller omröring, vilket visat sig vara en påtaglig brist.

Mätresultat

I följande tabeller redovisas mätresultat från provning enligt SIS 23 51 05 samt Cobb med 10 mm vattenpelare. Absorptionstiden har varit 24 h. I båda fallen har som en första grupp samlats de fem tidigare studerade 'typ-skivorna' samt i en andra grupp dels några jämförbara tjocka kvalitéter, dels exempel på 1/8" board. Uppgifter lämnas om kvarstående tjocklekssvällning, sedan provkropparna efter doppning konditionerats i normalklimat, d.v.s. 65 ± 2 % r.f. 20 ± 1 °C, under 7 dygn. För konsumenten är en sådan uppgift ofta intressantare än den omedelbara svällningen vid doppning, särskilt som relationen dem emellan kan vara ganska olika för skilda kvalitéter. Som allmän information om de medtagna sorterna anges även densiteten i tabellen.

För 10 mm spånskivor, 10 - 12 mm byggboard och 1/4" hård board varierar absorption och svällning högst avsevärt mellan skilda fabrikat, vilket framgår av den första tabellen. Dessa värden är baserade på provkroppar tagna ur två olika skivor i fullt format. För 1/8" hård board brukar 30 % absorption och 20 % svällning anses vara maximum för god kvalitet, men högre värden kan förekomma.

Inom parentes bör här påpekas, att de svenska normerna för board, SIS 23 51 01 - 23 51 06, anvisar andra toleranser för normalklimat än ISO, som i Draft ISO Recommendation No. 556 (Revised text) anger alternativt 65 ± 2 % r.f. 20 ± 1 °C eller 65 ± 5 % r.f. 20 ± 2 °C. SIS däremot kräver 65 ± 2 % r.f. 20 ± 2 °C, vilket är en tekniskt obalanserad kompromiss. I Meddelande nr 174 från Papiindustriens Forskningsinstitut, Oslo, har E Stephansen på ett utmärkt sätt klarlagt dessa frågor.

Vattenabsorption och tjocklekssvällning mätt enl. SIS 23 51 05 samt densitet enl. SIS 23 51 03, medelvärden samt spridning $\pm$ s.

Sort	Vatten- absorption %	Tjocklekssvällning % efter doppn. kvarstående		Densitet g/cm ³
U-plywood 7 mm	31,4 $\pm$ 10,9	4,9 $\pm$ 4,9	2,3 $\pm$ 1,9	0,62 $\pm$ 0,05
Spånskiva 10 mm	19,7 $\pm$ 5,0	4,7 $\pm$ 0,8	2,3 $\pm$ 0,4	0,60 $\pm$ 0,03
Byggboard 12 mm	36,5 $\pm$ 2,8	10,7 $\pm$ 0,4	3,1 $\pm$ 0,2	0,63 $\pm$ 0,03
Hård board 1/4"	17,6 $\pm$ 3,1	7,3 $\pm$ 0,4	2,5 $\pm$ 0,5	0,97 $\pm$ 0,03
Oljehärdad board 1/4"	4,2 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,2	1,02 $\pm$ 0,01
Spånskiva 10 mm , fabr. B	46,7	11,4	6,0	0,66 $\pm$ 0,04
Byggboard 10 mm, fabr. B	18,7	4,3	0,8	0,65 $\pm$ 0,04
Hård board 1/4", fabr. B	8,9	4,2	1,5	0,99 $\pm$ 0,02
Hård board 1/8" Standard	10 $\hat{a}$ 30	7 $\hat{a}$ 20	2,5 $\hat{a}$ 7	0,92 $\hat{a}$ 1,0
Oljehärdad board 1/8"	7 $\hat{a}$ 12	5 $\hat{a}$ 8	1,5 $\hat{a}$ 3	1,0 $\hat{a}$ 1,4

Enkelsidig vattenabsorption enl. Cobb, 10 mm vp, 20 °C, medelvärden samt spridning $\pm$ s.

Sort	Absorption g/100 cm ² 24 h		
	Sida 1 (slät)	Sida 2 (ev. vira)	Medelvärde 1 och 2
U-plywood 7 mm	9,5 $\pm$ 0,8	8,7 $\pm$ 0,7	9,1
Spånskiva 10 mm	2,2 $\pm$ 0,2	2,4 $\pm$ 0,2	2,3
Byggboard 12 mm	6,6 $\pm$ 0,6	5,8 $\pm$ 0,6	6,2
Hård board 1/4"	3,6 $\pm$ 0,1	4,2 $\pm$ 0,7	3,9
Oljeh. board 1/4"	0,9 $\pm$ 0,0	1,0 $\pm$ 0,4	0,9
Spånskiva 10 mm, B	6,6 $\pm$ 1,3	5,3 $\pm$ 1,1	5,9
Byggboard 10 mm, B	2,3 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,1	2,4
Hård board 1/4", B	1,7 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,3	2,0
Hård board 1/8", Stand.	1,5 $\hat{a}$ 6	1,8 $\hat{a}$ 6	1,6 $\hat{a}$ 6
Oljeh. board 1/8"	0,9 $\hat{a}$ 2	1,5 $\hat{a}$ 4	1,2 $\hat{a}$ 3

Sorption i luft.

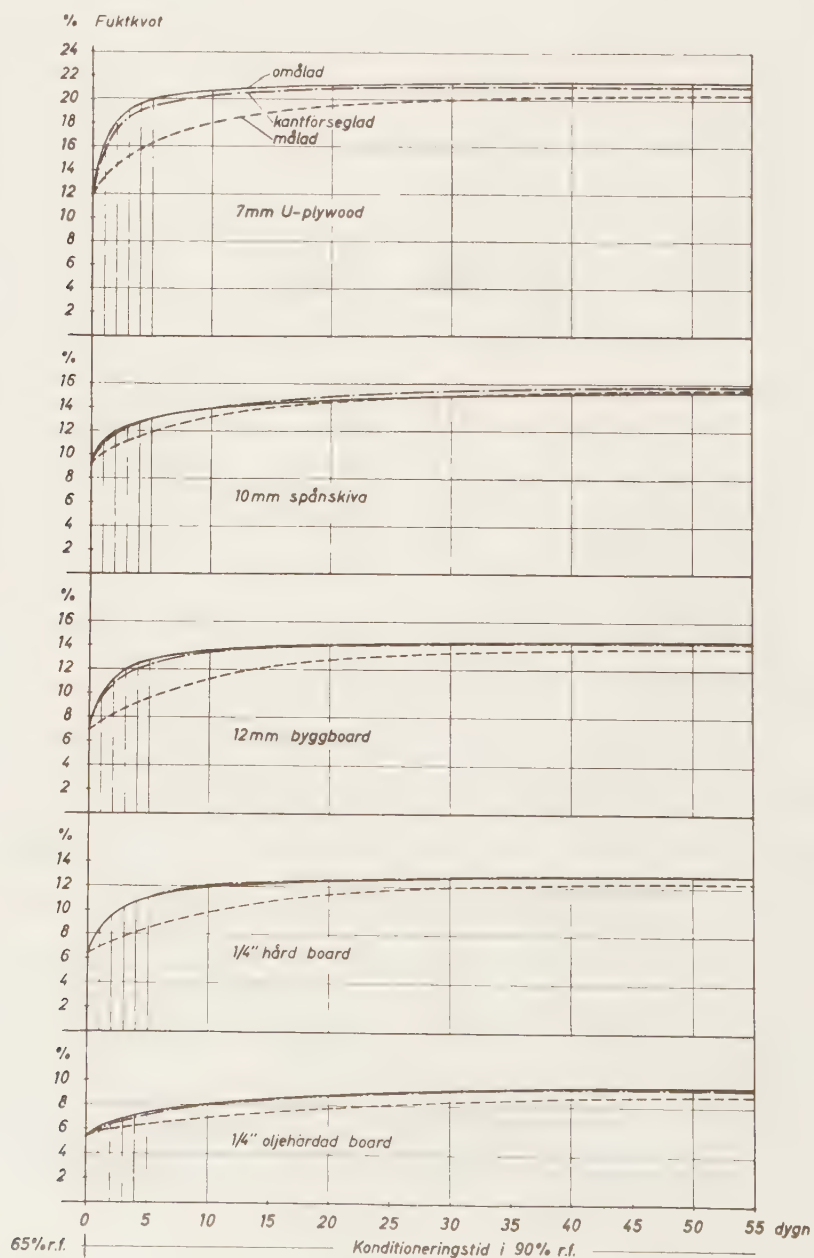
Sorptions hastigheten i luft beror av skivans porositet, fiberpartiklarnas art och storlek samt ev. tillsatser av fuktpärrande natur såsom olja och lim. Dessutom inverkar naturligtvis tjockleken hos materialet. Man har gjort liknelser mellan sorptionsförloppet och den successiva temperaturförändringen i plattor, vars ytor värmes eller kyles. Sorptionen är dock mer komplicerad än värmeledning eftersom absorption frigör och desorption binder värme, vilket påverkar mikroklimatet och fördröjer fuktkvotens förändring. Villkoret för snabb absorption är sålunda icke enbart stor skillnad i partialtryck utan också effektiv värmeavledning dels från materialets inre skikt ut till ytan, dels från denna och till omgivande atmosfär. En porös struktur hos materialet underlättar diffusionen men försvårar värmeavledningen.

Diffusionshastigheten och därmed sorptionen i porösa material borde kunna påskyndas av ljud, ev. ultraljud. Några försök har utförts vid laboratoriet men mätningarna försvårats p.gr. av att ljudenergin även ger temperaturförhöjning, som motverkar absorption men påskyndar desorption.

Sorptionen kan forceras genom att luft med lämplig fuktighet suges tvärs igenom fiberskivor, men de mekaniska arrangemangen blir omfattande. Metoden användes dock för samtidig kylning och uppfuktning av porös board, när denna med hög temperatur matas ut ur rulltorken. Luftsugningen kombineras då med lätt vattenspritsning på skivans yta.

Figur 32

Absorption hos
provkroppar 10 x 10 cm
flyttade till 90 % r.f.
efter kond. i 65 % 20 °C.



Absorptionshastigheten är i stort sett densamma för omålade och kantförseglade provkroppar. Däremot har målning medfört en högst avsevärd fördröjning, som delvis utjämnar skillnaden mellan oljehärdade och andra träfiberskivor.

Plywood och byggboard uppnår nästan fuktjämvikt efter 20 dygn, medan övriga sorter kräver 40 $\pm$ 50 dygn. Liksom vid klimatundersökningarna har fuktkvoten för målade skivor stannat på 0,5 - 1,0 % lägre värden, vilket tyder på att färgen haft en impregnerande effekt, se kommentarer till figur 22.

Tiden för att uppnå fuktjämvikt kan ej användas som mått på absorptionshastigheten eftersom det är praktiskt omöjligt att avgöra när jämvikt verkligen inträffat - om den någonsin gör det. Men man kan med acceptabel noggrannhet se hur lång tid som fordras att nå halvvägs till jämvikt, och detta ger åtminstone en relativ bedömning av olika skivors fukttröghet. För nyssnämnda fem sorter erhålles :

Sort	Absorptionstid i dygn till halv fuktjämvikt vid ändring från 65 till 90 % r.f., lufthastighet 0,5 m/s		
	omålad	kantförseglad	målad
U-plywood 7 mm	1,1	1,4 (x 1,3)	4,6 (x 4,2)
Spånskiva 10 mm	2,6	3,4 (x 1,3)	6,5 (x 2,5)
Byggboard 12 mm	1,6	1,8 (x 1,1)	7,3 (x 4,6)
Hård board 1/4"	2,1	2,2 (x 1,0)	8,0 (x 3,8)
Oljeh. board 1/4"	5,8	6,2 (x 1,1)	12,0 (x 2,1)

I tabellen anges inom parentes den förlängningsfaktor som kantförsegling och målning medfört. Trots att provkropparna varit små, har kanteffekten varit ringa. Målning kan däremot löna sig, åtminstone på plywood, byggboard och hård board.

Ovan tabellerade värden för kantförseglade prover bör vara ungefär omvänt proportionella mot skivornas fuktdiffusionstal, vilka bestämts vid 20 °C

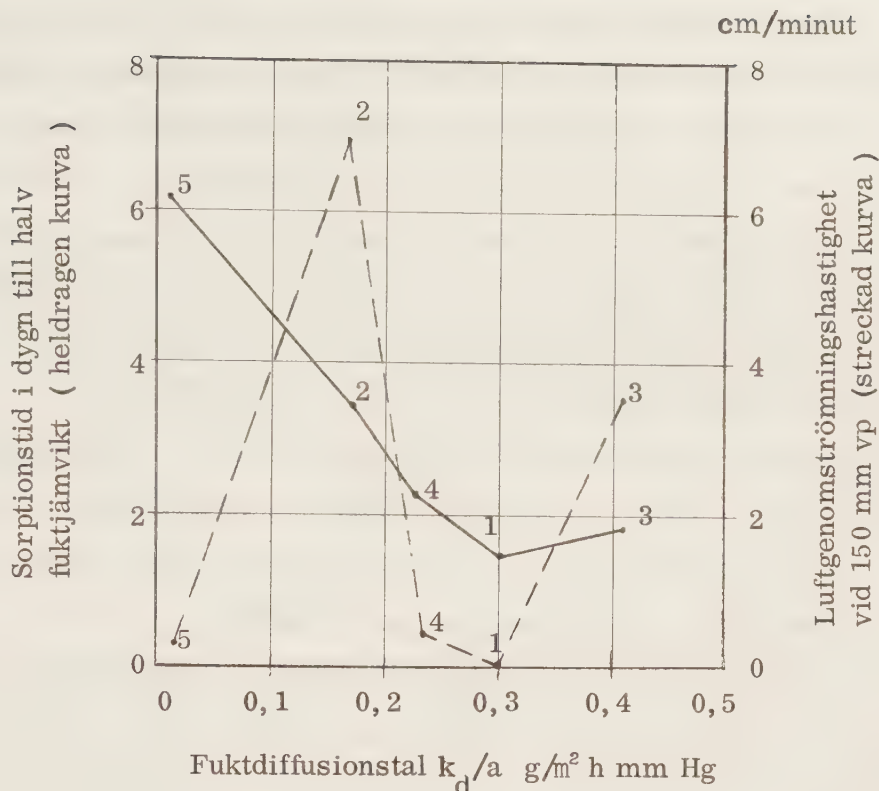
och fuktintervallet 100 - 32 % r.f. mellan sidorna. För jämförelse har medtagits ytterligare några material i tabellen nedan.

Sort	Fuktdiffusionstal vid 20 °C			
	k_d/a	$g/m^2 h mm Hg$	k_d	$g/m h mm Hg$
U-plywood 7 mm		0,30		0,0021
Spånskiva 10 mm		0,17		0,0017
Byggboard 12 mm		0,41		0,0049
Hård board 1/4"		0,23		0,0015
Oljeh. board 1/4"		0,08		0,0005
Hård board 1/8" standard kval.		0,53		0,0017
Dito målad på slätsidan		0,18		
Hård board 1/8" yttätad snick.-kval.		0,38		
Linoleum 2 mm		0,015		
Plastfolie 0,10 mm s.k. byggfolie		0,019		

Med tabellens värden för k_d/a erhålles ett ganska gott samband mellan absorptionshastighet och diffusionstal, vilket visas i figur 33. Detta är knappast förvånande, men däremot överraskar den i samma figur inritade kurvan för skivornas luftgenomsläpplighet, som ger en helt annan bild av deras otäthet. En mikroskopisk undersökning bekräftar emellertid intrycket : I spånskivan finns otaliga porer mellan spånen, och byggboarden har en fin men porös struktur även vid den relativt täta 'bakade' slätsidan. Däremot synes plywood och oljehärdad board ha slutna ytor vid 65 % r.f.

Figur 33

1. U-plywood
2. Spånskiva
3. Byggboard
4. Hård board
5. Oljehärdad



Man kan då fråga sig, varför spånskivan ej tillåter större diffusion och högre absorptionshastighet än plywooden? Det finns förklaringar: Porerna i spånskivan ger långa och trånga kanaler, där fuktdiffusionen går mycket sakta. Diffusionstalet är nämligen ganska lågt även för stillastående luft, vid 20 °C ca 0,09 g/m h mm Hg. Vattenmolekyler som diffunderar genom porerna hinner absorberas vid dessas väggar, varför kanalerna knappast ökar diffusionsgenomsläppligheten men tillåter luftgenomgång när tryckdifferens föreligger.

Fuktdiffusion genom spånen i skivan måste övervinna extra spärrar i form av ett stort antal limskikt och andra övergångsmotstånd mellan partiklarna. Plywooden har endast 4 limskikt, och fukten kan hela vägen genom fanérskikten följa trästrukturens ursprungliga radiella riktning, där mörkstrålar underlättar transporten.

Permeabiliteten hos plywood bekräftas av mätningar utförda vid Statens Provingsanstalt. I sammanhanget kan nämnas, att diffusion genom massivt trä sker 2 till 3 gånger snabbare än genom plywood.

Det har framlagts många teorier om temperaturens inverkan på sorptions-hastigheten hos trä / 15 / , men överensstämmelsen med praktiska erfarenheter har aldrig blivit särskilt god. I bästa fall har formlerna visat sig giltiga under vissa angivna, mycket begränsade förutsättningar. Svårigheterna ligger bl.a. i sorptionens dubbla natur, dels en fuktvandring genom vedmaterialet, som i sig själv har komplicerad och anisotrop uppbyggnad, dels en fuktdiffusion i materialets porer till eller från kontaktytan, alltså i gasfas. Det sistnämnda ledet borde följa luftens absoluta fuktighet, vilket vid oförändrad r.f. borde innebära en ca 50-faldig ökning från rumstemperatur till 100 °C. Den praktiska erfarenheten bekräftar också, att sorptions-hastigheten mångdubblas vid hög temperatur, dock ej i takt med ångtrycket. Förloppet dämpas tydligen av den mindre temperaturberoende fuktvandringen genom veden.

Eftersom gruppen träfiberskivor omfattar en sådan mängd kombinationer av olika fiberslag, varierande täthet (även inom skivan), tjocklekar, impregnering etc., finnes knappast någon möjlighet att uppställa en praktiskt användbar formel för boardens sorptions-hastighet. Exempel på denna vid höga temperaturer skall dock lämnas i ett senare sammanhang.

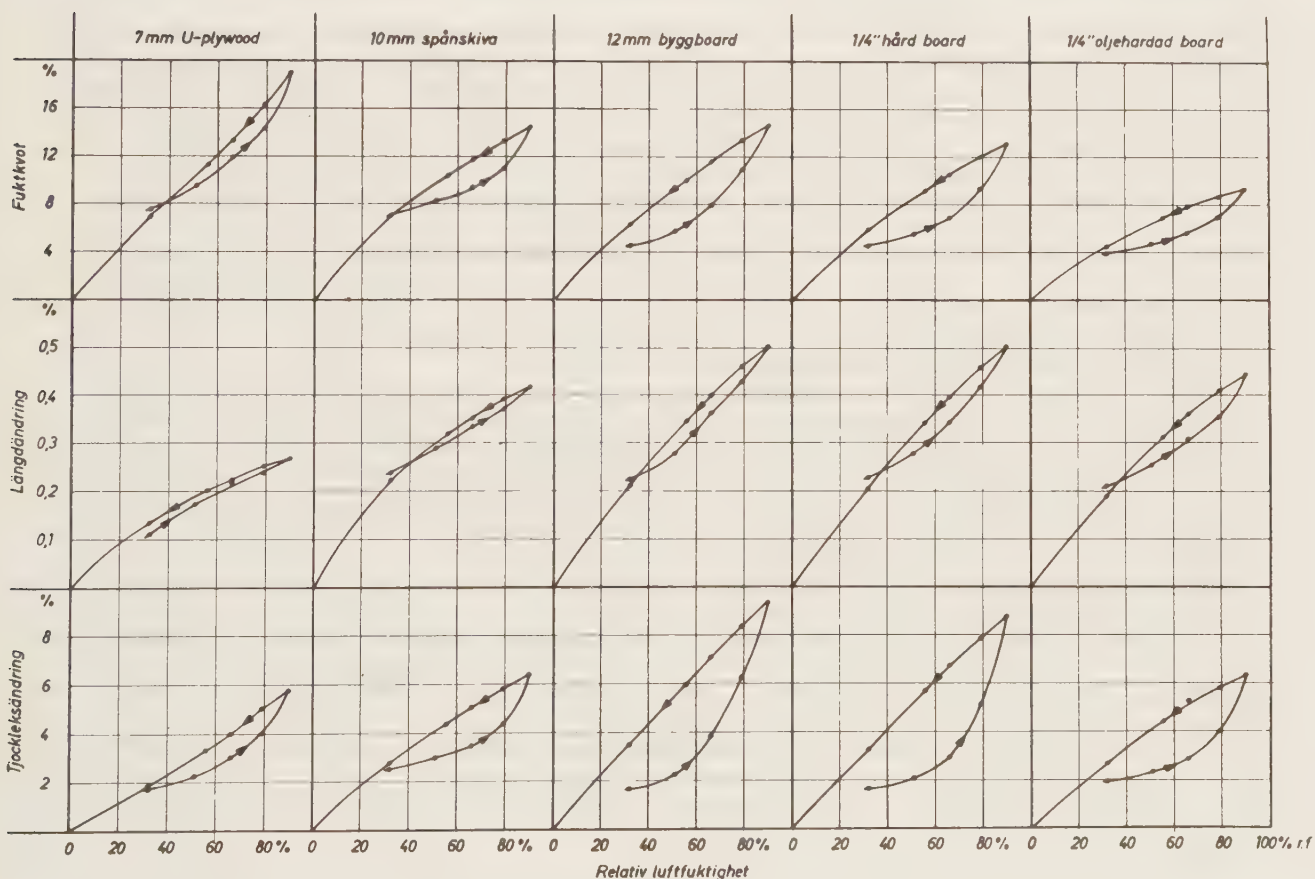
Hygroskopisk fuktjämvikt.

Den hygroskopiska jämvikten hos träprodukter beror av luftens relativa fuktighet. Hålles denna konstant, blir inverkan av normalt förekommande temperaturväxlingar ringa, vilket visas bl.a. i Loughborough's ofta återgivna diagram för trä.

Träfibern är uppbyggd av material med olika hygroskopiska egenskaper. Vid tillverkning av träfiberskivor tvättas de mest fuktkänsliga beståndsdelarna bort i samband med massaberedningen. Kraftig värmebehandling minskar också hygroskopiciteten hos vedmaterial. Denna effekt erhålles i viss mån även vid varmpressning av plywood och spånskivor. Impregnering kan påverka de hygroskopiska egenskaperna. Tillsatser av oljor och asfalt verkar något dämpande men huvudsakligen

fördröjande på sorptionen. Brandhämmande salter ökar ofta fuktkänsligheten. I detta sammanhang bör nämnas, att Mo och Domsjö marknadsför polyetylen-glykol, 'MODOLOG', som vid impregnering ger trä och träprodukter förbättrad fuktstabilitet.

Figur 32 har redovisat absorptionsförloppet mellan 65 och 90 % r.f. för de fem typ-skivorna, och ur diagrammen kan också utläsas fuktkvoterna vid jämvikt i dessa två klimat. För att få en fullständigare bild av jämviktsförhållanden vid olika luftfuktighet har några serier provkroppar fått stegvis genomlöpa en komplett fuktcykel 32 - 90 - 32 - 0 % r.f., 20 °C, se figur 34.



Figur 34

Vid varje inprickad luftfuktighet har klimatet hållits konstant under 3 $\pm$ 4 veckor för att nå jämvikt, varför cykeln som helhet krävt 8 månader. Den avslutas med värmestörning vid $103 \pm 2^\circ\text{C}$ för bestämning av fuktkvot enl. SIS 23 51 04.

Fuktförändringarna hos hård, oljehärdad och porös board vid en liknande fuktcykel har författaren redovisat tidigare / 16 /, men de senaste mätningarna är noggrannare och avser intressantare typer av skivor, varför kommentarerna skall inriktas på dessa, figur 34.

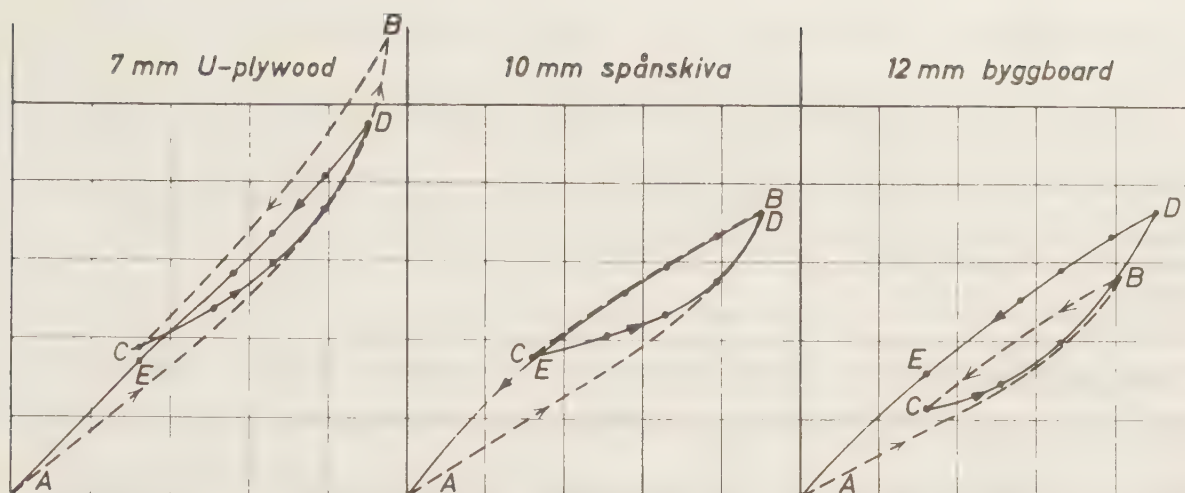
När cykeln börjar vid 32 % r.f. håller plywood en fuktkvot nära 8 %, vilket är obetydligt mer än spånskivan men nästan dubbelt så mycket som de tre board-sorterna. Då r.f. ökas till 90 % stiger fuktkvoten för plywood till 19 %, för spånskiva, byggboard och hård board till ca 14 % men för oljehärdad board endast till 9 %. Vid förnyad torkning till 32 % r.f. går endast spånskivan tillbaka till sin ursprungliga fuktkvot, medan övriga skivor stannar på lägre eller högre värden.

Skillnaden mellan absorptions- och desorptionskurvorna beror på fukthysteresis. Orsaken till hysteresiseffekten som sådan skall ej diskuteras här eftersom den utförligt behandlats i många sammanhang och för skilda material /15 17 /, men det kan vara skäl att påminna om hur den verkar :

Hysteresisslingor begränsar ytor inom vilka fuktjämvikt kan uppnås i varje punkt genom lämplig fuktbehandling av det hygroskopiska materialet. Övergång mellan absorptions- och desorptionsisotermer följer kurvor med snarlikt utseende. Reglerna ger ofta möjlighet att bedöma från vilken fuktkvot ett material kommer.

Figur 35 visar med streckade linjer hur plywood, spånskiva och byggboard kunnat nå sina fuktkvoter, kallade C, vid cykelns början. Från ett tänkt, helt torrt tillstånd vid A har skivorna i något samband fuktats upp till B (vid fabrikation eller lagring senare), därefter torkats till C vid cykelns start samt under cykelns gång följt slingan C - D - E.

Plywooden har sålunda kommit från mycket hög fuktighet före cykelns början, men för byggboarden gäller det motsatta. Spånskivan utgör ett mellanting ty den låg redan från början på cykelns desorptionsisoterm.



Figur 35

Dessa tre typfall illustrerar dels hur oklart begreppet fuktjämvikt egentligen är, dels hur hysteresis påverkar fuktkvotens förändring vid klimatväxlingar.

För ordningens skull bör påpekas, att inblandningen av lim och vax i spånskivor ökar dessas torrsvikt och därmed reducerar fuktkvoten och dess variationer. Detsamma gäller i princip för oljehärdad board.

Man observerar, att fuktkvoten ökar snabbt hos samtliga kvalitéer, när luftfuktigheten överstiger ca 80 %. Detta är ett kritiskt värde även för andra egenskaper och andra material. Vid ungefär denna luftfuktighet börjar nämligen molekylära vattenskikt bildas på fasta kroppars yta, och skiktjockleken växer sedan snabbt vid tilltagande r.f. Ved mjuknar, fiberbindningar försvagas. Stål börjar korrodera. Adhesionen mellan partiklar ökar, så att t.ex. rasvinkeln för sand nästan språngvis förändras vid 78 % r.f.

Fuktrörelser.

Fuktcykeln enligt figur 34 ger besked även om skivornas fuktrörelser i plan och tjocklek. Tydligt förekommer både återgående (reversibla) och kvarstående (permanenta) dimensionsförändringar. De skall granskas i nämnd ordning.

Mellan 32 och 90 % r.f. har rörelsen i planet varit ca 0,15 % för plywood, 0,2 % för spånskiva, 0,3 % för byggboard och hård board samt 0,25 % för oljehärdad. Om massivt furuvirke medtagits, skulle dess fuktrörelser längs fibrerna erfarenhetsmässigt blivit ungefär samma som för plywood, men i virkets tvärlängd hade rörelserna blivit 10 å 15 ggr större radiellt och 20 å 25 ggr större tangentiellt, d.v.s. ca 2 resp. 3,5 %.

Alla fem skivtyperna kännetecknas av att träfibrerna arrangerats i korsande riktningar så att de spärta varandras tvär-rörelser. Effektivast sker detta i plywood, men även övriga skivor har en förbluffande stabilitet i planet. Man kan undra hur detta är möjligt. Rörelserna hos t.ex. plywood borde ytligt sett motsvara ett mellanting av virkets längs- och tvärrörelser, d.v.s. en kompromiss där dessa balanseras av motsvarande elasticitetsmoduler.

En beräkning baserad på detta resonemang skulle ge följande : Vid uppfuktning från 32 till 90 % tänkes rörelserna hos fanérskikten först utvecklas fritt, d.v.s. med 0,15 % i längsled och 3,5 % i tvärlängd (uttaget tangentiellt ur timret vid svarvning). Skillnaden 3,35 % skall mekaniskt jämkas ihop, varvid töjningen i längsled blir ϵ och kompressionen i tvärlängd $0,0335 - \epsilon$. Om elasticitetsmodulerna är 120 000 och 6 000 kp/cm² erhålles följande kraftbalans om fanértjockleken är densamma i båda riktningarna :

$$120\,000 \cdot \epsilon = 6\,000 (0,0335 - \epsilon)$$

$$\epsilon = 0,0016 \quad (0,16 \%)$$

Längsgående fibrer skulle sålunda utöver sin normala fuktrörelse 0,15 % få en mekanisk töjning 0,16 %, tillhoppa 0,31 % som rörelse i plywoodens plan.

Det finns två principiellt olika orsaker till att det praktiska resultatet blir ett helt annat, d.v.s. ytterst liten skillnad mellan fuktrörelser hos plywood och virke i längsled :

Vid fanérsvarvning uppkommer mängder av fina sprickor, som i någon mån öppnar sig, när fanéren planas ut, och vidgas ytterligare, när plywooden torkar efter sammanlimning vid en fuktkvot svarande mot ca 65 % r.f. Under denna fuktnivå förmår tvärfanéren knappast utöva någon svällkraft. Sprickorna fångar upp förekommande fuktrörelser.

Den andra förklaringen är E-modulernas förändring under uppfuktningen, som dels medför en direkt reduktion, dels ger tid för krypning. Dessa effekter diskuteras ingående i kapitel 5. Redan nu kan nämnas, att modulen i fiberriktningen minskar från ca 120 000 till 80 000 kp/cm² men proportionsvis mycket mer i tvärlädd, från ca 6 000 till 600 kp/cm². De rörformiga fibrerna stukas ihop i sidled och sväller desto mer vinkelrätt däremot, vilket ger plywood större tjockleksökning än virke radiellt. Om de reducerade E-modulerna insättes i ekvationen, erhålles $\epsilon = \text{ca } 0,03 \% \text{ i st.f. } 0,16 \% \text{ tidigare}$, och detta värde minskas i praktiken ytterligare av fanérsprickorna.

I detta sammanhang bör påminnas om att skjuvspänningarna mellan längs- och tvärgående fäner ökar med dessas tjocklek och kan medföra brott eller allmänt nedsatt hållfasthet, när grovt uppbyggd plywood genomlöper fuktväxlingar.

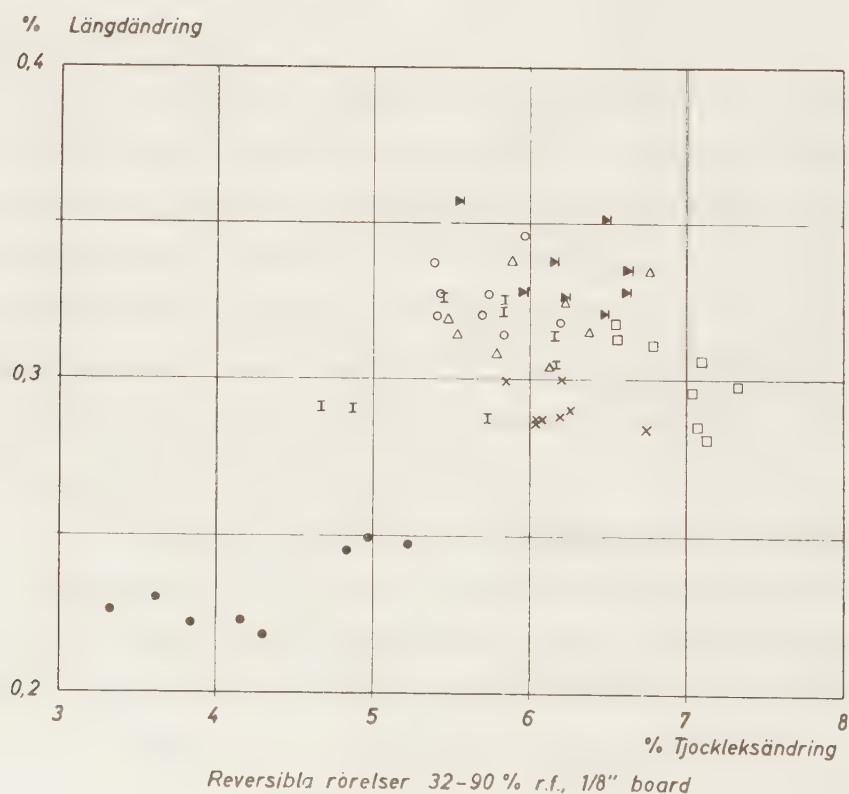
I spånskivor och board ligger fibrerna orienterade väsentligen i skivans plan liksom i plywood men ej begränsat till två huvudriktningar utan likformigt fördelade i planets alla riktningar. Kraftöverföringen sker ej direkt och styvt mellan parallellt orienterade fibrer som i längsgående fäner utan på omvägar via snedställda partiklar ibland sammankopplade av tvärliggande, skjuvsvaga förband. Denna struktur skulle medgiva ännu större fuktrörelser än de iakttagna om ej porositeten samtidigt gav fritt utrymme för en viss 'inre svällning'.

Eftersom fuktrörelsen i skivans plan så intimt sammanhänger med materialens mekaniska egenskaper, skall frågorna ytterligare behandlas i samband därmed.

De reversibla tjockleksförändringarna hos spånskivor är av samma storlek som hos virke tangentiellt, vilket förefaller naturligt. Däremot har board av alla densiteter vanligen betydligt större tjockleksrörelser. Eftersom detta gäller även porös board, kan orsaken ej vara brist på porvolym utan får sökas i formförändring hos den enskilda fibern och i strukturen som helhet. De ursprungligen rörformiga och tämligen raka fibrerna deformeras kraftigt vid defibrering och återfinnes i boarden mer eller mindre tillplattade, sönderslitna och böjda, vilket måste försämra deras individuella formstabilitet vid fuktväxlingar. I någon mån kan principiellt samma effekt iakttagas hos virke, vars fuktrörelser blir större om provkropparna är mycket små. Därvid förringas nämligen stabiliteten i den ursprungliga helheten uppbyggd av förstyvande märgstrålar och ringar av tätare ved. / 18 /.

Figur 36 redovisar reversibla fuktrörelser hos 1/8" board av 7 olika fabrikat provade 8 gånger under ett år. Varje inprickat mätvärde utgör medeltal för

Figur 36



6 provkroppar uttagna samtidigt. Totalt föreligger en tendens till direkt samband mellan rörelser i tjocklek och ytmått ('längd'), vilket beror på fabriktens skillnader i fiberslag och grad av värmehärdning. Men varje enskilt märke visar ej sådant samband, icke heller bekräftas något omvänt dylikt.

Fuktcykler enligt figur 34 har medfört kvarstående viktändringar, särskilt hos boardproverna, som hamnat på högre jämviktslägen i hysteresis slingan. Dessa motsvaras av stor kvarstående tjocklekssvällning, som i sin tur medfört tydlig längdminskning. Som framhållits ovan, beror nämligen tjockleksökningen hos fiberskivor endast till en del av fiberns svällning, medan resten sammanhänger med geometriska förändringar i strukturen. En kvarstående sådan effekt brukar kallas 'fiberresning', och den består i att fiberns vid pressning och torkning påtvingade form och läge förändras, när fiberbindningar deformeras eller lossnar under inverkan av fukt. 'Resningen' blir särskilt kraftig om fuktningen sker så snabbt, att fiberns spänst ännu finnes kvar, när de ytliga bindningarna försvagats av fukten.

I princip samma effekt är sedan länge känd hos papper och tyg, vilka material som bekant erhåller kvarstående krympning efter blötning och torkning. På glättat papper blir fiberresningen fullt synlig på ytan, som förlorar sin finish. Permanenta dimensionsförändringar hos board påvisades redan 1948 av N J Ögland / 19 / som genomförde fuktcykler dels i luft av olika fuktighet, dels med omväxlande vat-tendoppning och torkning i värme. Hans rapporter ger också en uppfattning om temperaturens inverkan på sorptionen samt betydelsen av värmehärdning. Detta pionjärarbete torde ha ökat intresset för härdning men blev för övrigt aldrig observerat efter förtjänst kanske beroende på att några positiva praktiska konklusioner ej anvisades. Eftersom resultaten presenterades mycket koncentrerat i en publikation tämligen okänd bland boardkonsumenter, uteblev också reaktionen inom denna grupp.

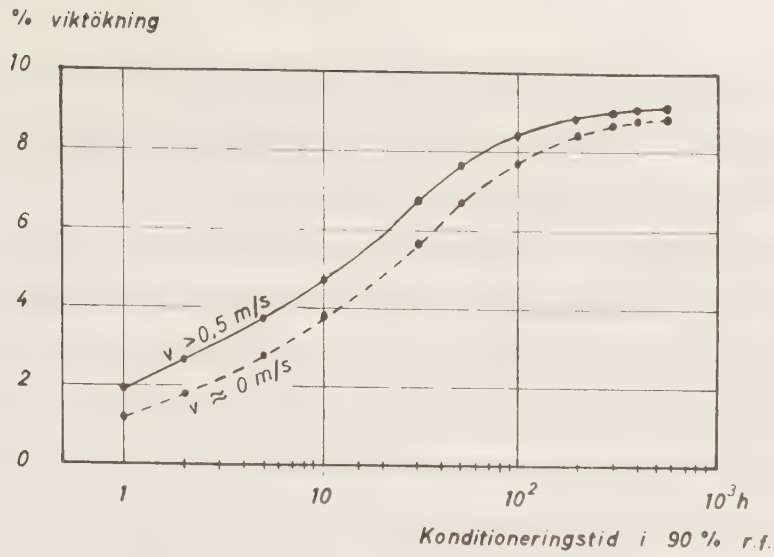
Man kan på olika sätt visa, att de kvarstående längd- och tjockleksförändringarna blir större, när absorptionen till viss fuktnivå sker snabbt. Om cykeln enligt figur 34 ej drivits stegvis utan klimatet ändrats från 32 % direkt till 90 % r.f., hade

de permanenta dimensionsförändringarna blivit större. Förhöjd temperatur hade haft likartad inverkan eftersom sorptionen påskyndats därav. I fabrikernas konditioneringskammare hålles numera 60 å 80 °C för att nå snabbare fuktning. Drives konditioneringen för hårt, får boardens slätsida försämrade ytjämnhet och finish p.g.r. av fiberresning.

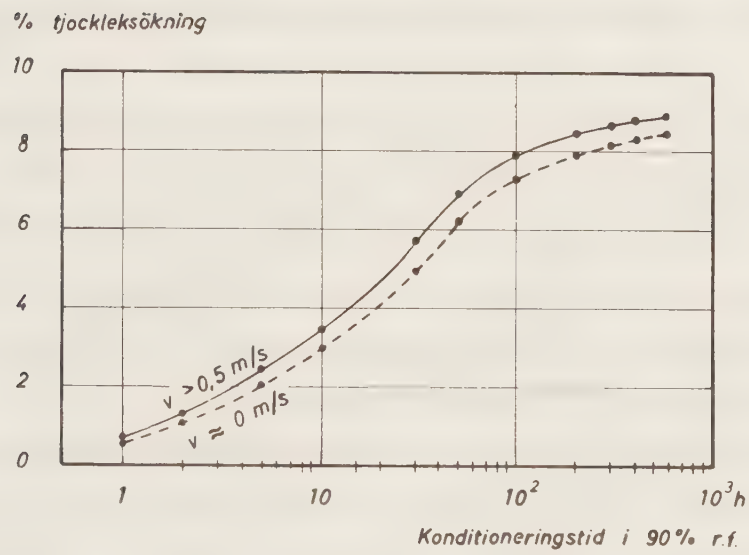
Figur 37 visar fuktförändringar hos två sinsemellan lika provkroppar av 1/8" hård board, vilka först konditionerats till jämvikt i 32 % r.f. och därefter exponerats för 90 % r.f. 20 °C, den ena utsatt för lufthastigheten > 0,5 m/sek, den andra för ≈ 0 m/sek. Efter 500 timmar har jämvikt ännu ej uppnåtts, men absorptionen går mycket sakta. Tjocklekssvällningen uppvisar redan från början en påtaglig fördröjning relativt viktökningen men pågår med ganska god fart för bägge proverna även sedan absorptionen avtagit. Längdökningen utvecklas till en början snabbt för båda provkropparna men upphör helt och börjar t.o.m gå tillbaka, när absorptionen stannar av. Denna märkliga effekt, som iakttagits många gånger och mest utpräglat vid snabb uppfuktning, sammanhänger med den fördröjda tjocklekssvällningen. Dess reducerande inverkan på skivans ytmått blir mest uppenbar, när absorptionen upphört.

Jämförande försök bl.a. med uppfuktning 30 - 65 och 65 - 90 % har visat, att den relativa fuktigheten måste vara hög för att permanenta dimensionsförändringar skall utvecklas. Detta betyder emellertid icke, att boardens fuktkvot behöver nå upp till höga värden. Endast fiberytans fuktighet har betydelse, och det är snarare en fördel om fiberns inre är relativt torrt. Om fuktningen sker mycket snabbt, såsom t.ex. i svagt överhettad vattenånga, är det tillräckligt att höja fuktkvotens medelvärde till några få procent för att få stor utlösning av permanenta rörelser. Ett sådant förfarande kan medföra betydande praktiska fördelar, varom mera i kapitel 7.

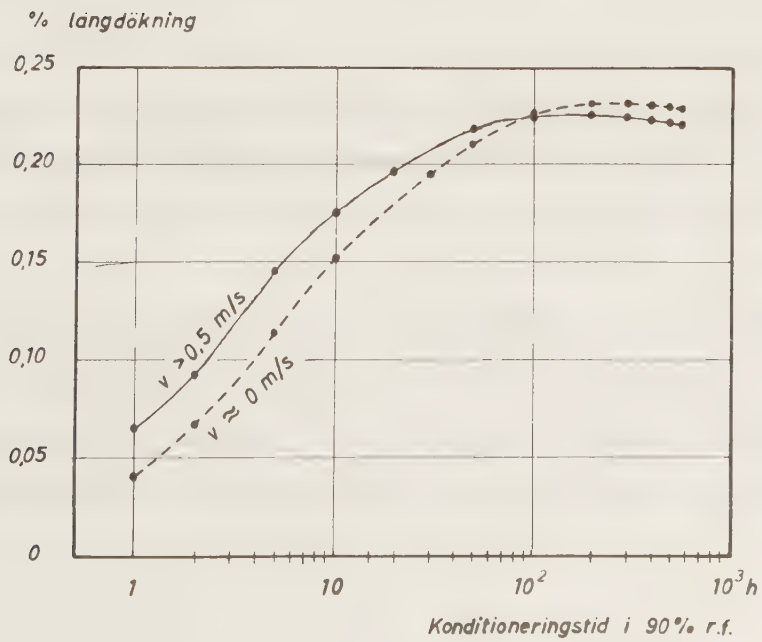
Omvänt gäller, att en sorptions-fördröjande ytbehandling, såsom målning, minskar den permanenta krympningen vid fuktväxlingar.



Figur
37 a



37 b



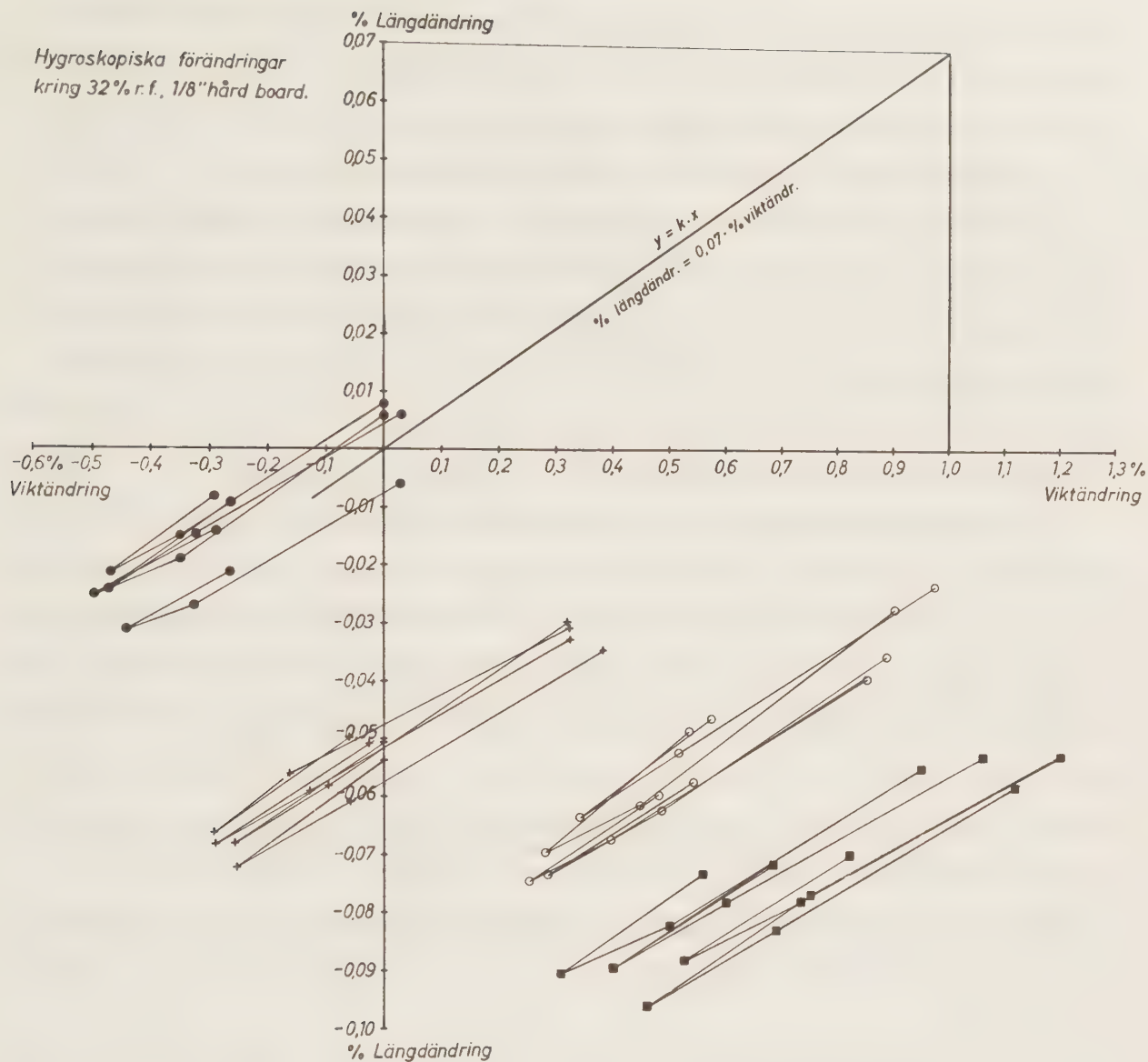
37 c

För korrekt bestämning av kvarstående förändringar måste inverkan av fukt-hysteresis elimineras. Om så ej sker - vilket är alltför vanligt -, kommer nämligen dåligt fabrikskonditionerade kvalitéer att premieras. Deras ursprungligen låga fuktkvot ökar vid fuktcykeln p.gr. av hysteresis, vilket döljer den permanenta längdkrympningen. Mot detta resonemang kan invändas, att tjockleksökningen blir desto större. Emellertid har förut framhållits, att uppfuktning vid fabrikationen kan ske på olika sätt, varför en viss fuktkvot och därmed hysteresiseffekt ej alltid motsvarar samma grad av stabilitet mot ytterligare dimensionsförändringar av permanent karaktär. En iakttagen tjockleksökning kan alltså bero på olika kombinationer av hysteresis och verklig, permanent svällning. I allmänhet har dessutom tjocklekssvällningen mindre praktiskt intresse än längdförändringen.

För att eliminera inverkan av hysteresis kan man gå tillväga på några olika sätt. Det ligger nära till hands att före mätningen låta provet genomlöpa en förberedande fuktcykel, så att lämpligt balanserad fuktkvot föreligger, när den egentliga mät-cykeln påbörjas. Denna skulle då komma att följa en sluten slinga såsom figur 34 visar för spånskiva. En extra fuktning tager emellertid tid och utlöser på förhand den dimensionsförändring man önskar mäta.

Ett andra alternativ skulle vara att starta och avsluta varje cykel vid full torrhet. Nackdelen med ett sådant i praktiken onaturligt intervall skulle ev. kunna elimineras genom en avslutande omräkning. Försök med cykler 0 - 65 och 0 - 90 % r.f. har provats vid laboratoriet (och 0 - 100 % r.f. studerats av Ögland), men de medför problem av andra slag. För att nå ca 0 % fuktkvot fordras värmestörning vid t.ex. $103 \pm 2^\circ \text{C}$ (SIS 23 51 04), vilket successivt förändrar skivans hygroskopiska egenskaper. Dessutom förorsakar så hög temperatur torrdestillation, varför någon stabil torrsvikt aldrig erhålles utan ständigt avtagande vikt för varje ny torkning / 16 /.

Som tredje möjlighet kan man vid cykelns avslutning kring 30 % r.f. fortsätta torkningen vid successivt sänkt r.f. så länge, att provkroppen återfår sin utgångsvikt. Då sker mätning av längd och tjocklek, varvid permanenta förändringar direkt erhålles vid jämförelse med ursprungliga dimensioner. Ett sådant förfarande



Figur 38 Samband mellan vikt- och längdändring omkring 32 % r.f. för 1/8" hård board.

förefaller korrekt men är i praktiken mycket omständligt. Metoden har dock använts i ett stort antal fall vid laboratoriet, varvid erfarenhet vunnits om sambandet mellan vikt- och dimensionsförändringar inom ett område vid 32 % r.f. Några resultat redovisas i figur 38, varav framgår, att viktdifferenser av 1 % ger längdförändringar av 0,07 % hos provkroppar av 1/8" board. För åtta olika fabrikat har koefficienten varierat mellan 0,062 och 0,077, men sådana avvikelser har knappast praktisk betydelse eftersom det endast gäller att få fram storleken av en korrigeringsterm till en mångfaldigt större uppmätt rörelse mellan ca 32 och 90 % r.f. Om mätningen däremot gäller material med helt annan eller okänd specifik fuktrörelse, måste naturligtvis en ny koefficient framtagas.

Om en fuktcykel medför en från utgångsvärdet avvikande slut-vikt, kan man med hjälp av koefficienten lätt kalkylera den längdförändring som en mödosam intrimning av vikten kunde förväntas medföra. Är viktfelet t.ex. + 1 %, så skall den uppmätta längden korrigeras med - 0,07 %. Vid fuktcykler med 3 dygn i 90 % och 3 dygn i 32 % r.f. brukar erhållas en kvarstående övervikt av högst 1 % och vanligen endast 0,2 % för 1/8" board. Mindre viktavvikelser än 0,2 %, vilket motsvarar 0,014 % längd-fel, brukar ej korrigeras. Metoden, som utvecklades vid laboratoriet för 10 år sedan, har kallats för 'nollräkning', och den användes rutinmässigt vid bestämning av kvarstående förändringar i längd men icke tjocklek, som anses ha underordnat intresse.

Upprepade fuktcykler.

Redogörelsen har hittills gällt effekter av enstaka fuktcykler. Man frågar sig hur dimensionsförändringarna utvecklas vid upprepade växlingar i luftfuktigheten, antingen under praktikens oregelmässiga förändringar eller vid laboratoriets mer systematiska cykler med olika fuktintervall och varaktighet. Betr. de sistnämnda har en del uppgifter publicerats tidigare / 16 19 20 /, men eftersom förbättrade boardkvalitéer och nya resultat framkommit sedan dess, skall frågan ånyo tagas upp och denna gång med anknytning till de klimatväxlingar som förekommer i olika lokaler.

Vid laboratoriets rutinmässiga bestämning av dimensionsstabilitet hos $1/8''$ hård och $1/2''$ porös board mätes vikt-, längd- och tjockleksförändringar under 3 fuktcykler 32 - 90 - 32 % r.f. Vid varje klimat konditioneras i 3 dygn. Om programmet störes t.ex. av helgdag ordnas så, att proverna efter mätning i 32 % får kvarligga i detta klimat, tills tidpunkten blir lämplig för flyttning till box med 90 % r.f. Särskilt fukttröga kvalitéer har vanligen konditionerats 7 dygn vid varje luftfuktighet. Lufthastigheten över proverna har hållits vid ca 0,3 m/sek.

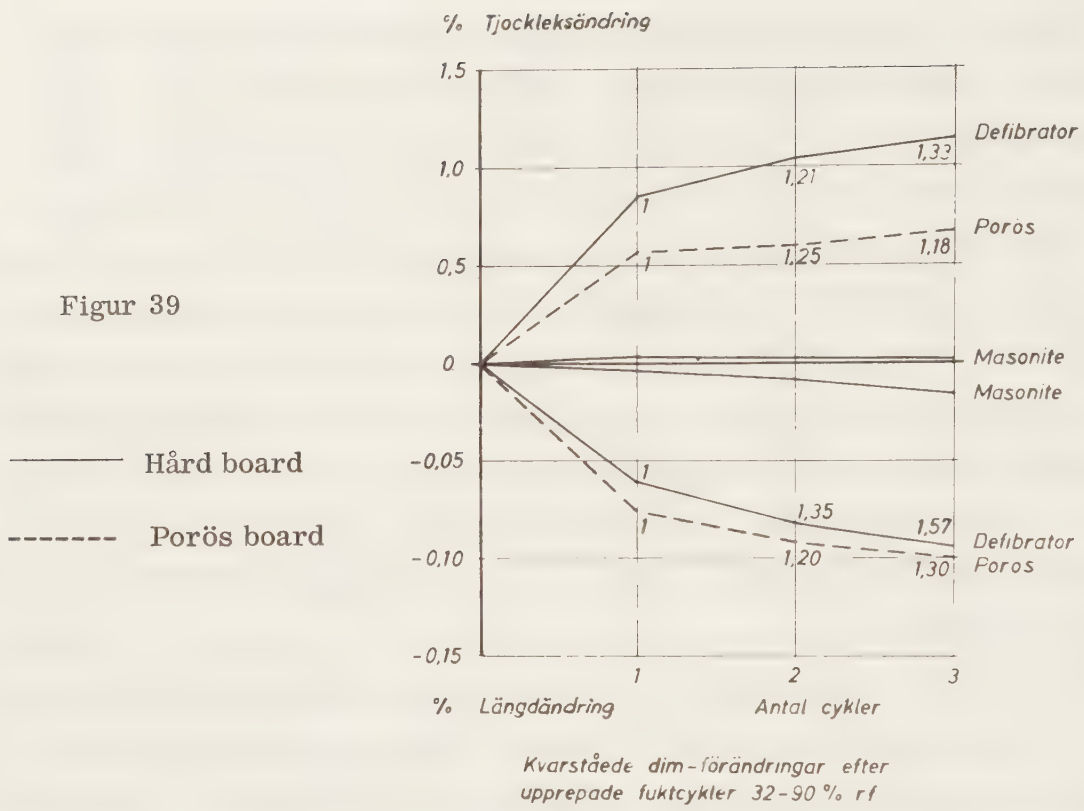
Beräkning och rapportering av reversibla förändringar har baserats på medelvärden från andra och tredje cykeln eftersom den första vanligen påverkas i någon riktning av hysteresiseffekten. De irreversibla dimensionsförändringarna uträknas efter första och andra cykeln, ibland även den tredje, och rapporteras med och utan 'nollräkning'.

En genomgång av ett mycket stort antal sådana mätvärden från åren 1962 - 1965 (totalt 462 provkroppar av $1/8''$ hård och 300 av $1/2''$ porös) har i stort sett bekräftat iakttagelser som 1955 - 1958 gjordes vid laboratoriet / 16 / , nämligen för $1/8''$ board :

1. De kvarstående dimensionsförändringarna ökar för varje ny cykel.
2. Tillskotten blir dock mindre och mindre. De bildar en konvergerande geometrisk serie med kvoten 0,5.
3. Om inverkan av den första cykeln är δ , går de irreversibla rörelserna mot asymptoter på nivån 2δ
4. Storleken av δ och därmed asymptoternas lägen beror av fuktcykelns intervall, uppfuktningshastigheten samt boardens kvalitet, särskilt dess härdning och fuktning vid fabriken.

Som framgår av figur 39 har emellertid de nya serierna uppvisat proportionsvis större effekt av första cykeln, och detta gäller särskilt porös board. Eftersom konditioneringsutrustningen under mellantiden byggts om för större lufthastighet och

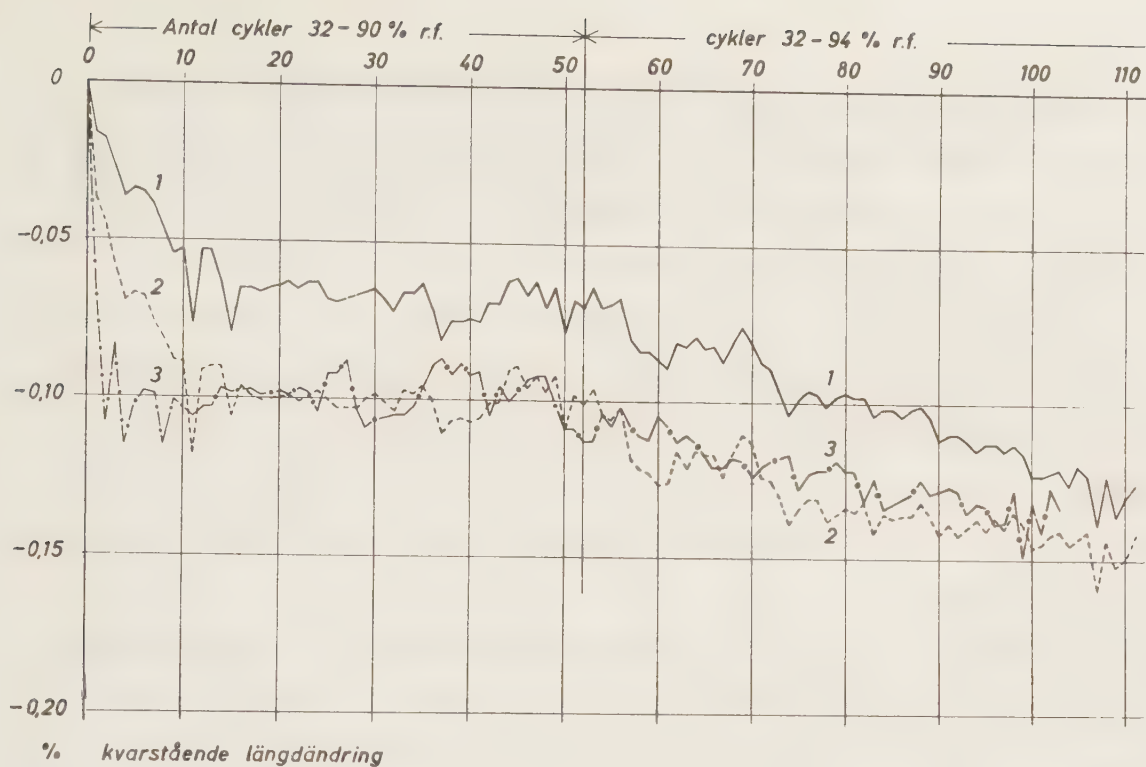
Figur 39



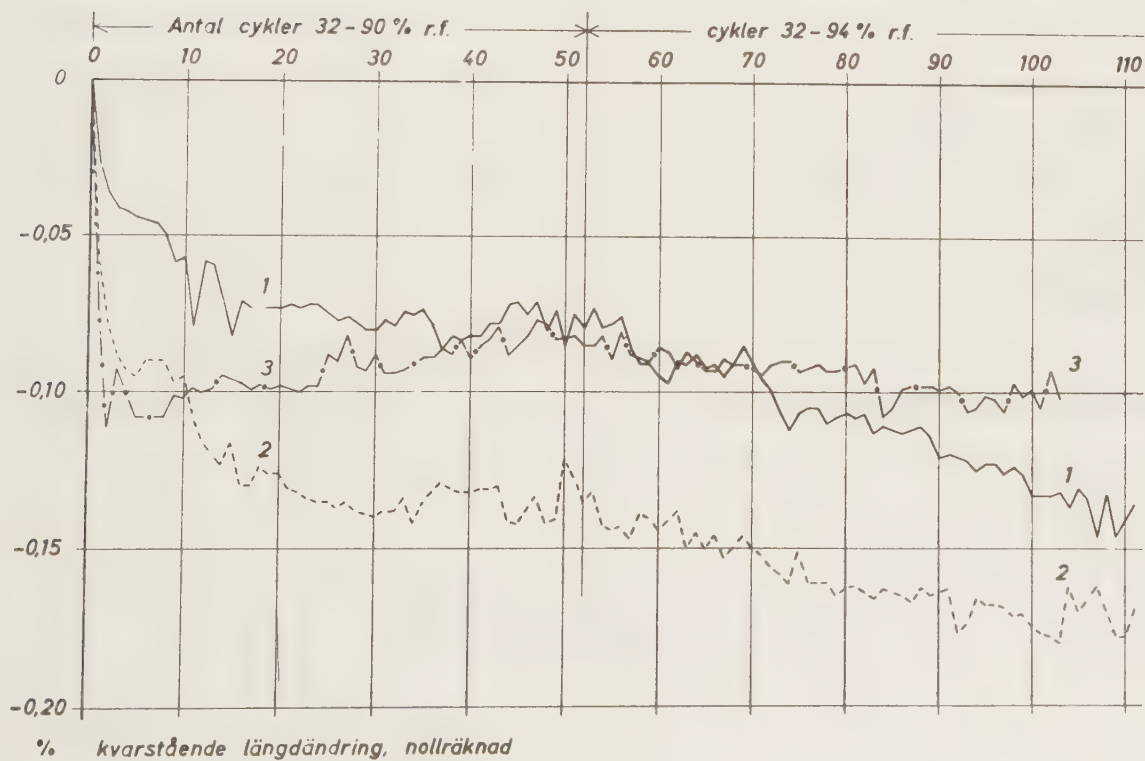
kortare insvängningstid till avsett klimat, kan skillnaden mellan gamla och nya serier möjligen bero på att snabbare, effektivare uppfuktning genast utlöser en relativt större andel av de irreversibla rörelser som upprepade cykler med visst intervall totalt kan ge. Detta skulle stämma dels med första cykelns stora effekt på porös board, vars struktur möjliggör snabba 'fukt-chocker', dels med en iakttagen långsammare effekt på Masonite, som till sin natur är mer fuktrög än defibratorboard. En lång mätserie för 1/8" hård Masonite visar t. ex. följande :

Antal cykler	Längdändring %
1	- 0,01
3	- 0,03
10	- 0,05
70	- 0,06

De två diagrammen i figur 40, baserade på mätvärden från 1958, redovisar längdändringar före och efter nollräkning för 1/8" hård Masonite (1), 1/8" hård defibratorboard (2) och 1/2" porös board (3), alla exponerade för ca 50 fuktcykler 32 - 90 % r.f. och därefter 50 fuktcykler 32 - 94 % r.f.



Figur 40 a 1 = 1/8" Masonite
 2 = 1/8" defibrator
 3 = 1/2" porös board



Figur 40 b

Den porösa boarden når redan efter de två första cyklerna 0,1 % krympning, som i stort sett förblir konstant tills de avslutande, kraftigare cyklerna medför ytterligare en liten förkortning. Den porösa boarden är mjuk och svår att mäta, vilket möjligen kan förklara kurvans stegring mellan 25:e och 50:e cyklerna.

De två sorterna hård 1/8" board förändras på annat sätt och i bättre överensstämmelse med ovannämnda geometriska serie. Efter de första 30 cyklerna har båda närmat sig sina asymptoter, men krympningen kommer åter igång, när de kraftigare cyklerna börjar. Efter 90 $\pm$ 100 cykler börjar defibratorboarden stabiliseras på nivån - 0,17 %, medan Masoniten nått - 0,13 och fortsätter att krympa i oförminskad takt.

Det bör inskjutas här, att Masonite vanligen kännetecknas av mycket små irreversibla längd- och tjockleksändringar, varför kurvan (1) icke är typisk för materialet. Tydligt är emellertid, att provningar begränsade till endast 2 $\pm$ 3 kortvariga fuktcyklar ger en något för gynnsam bild av Masonites stabilitet, men motsatsen för porös board och andra kvalitéer med relativt stor absorptionshastighet.

Om fuktcyklerna göres mycket våldsamma, t.ex. genom doppning av boarden i kokande vatten, kan de kvarstående dimensionsförändringarna bli lika stora som de reversibla, men vid praktiskt förekommande fuktväxlingar förblir de sistnämnda dominerande även efter lång tid. Att de kvarstående ändå kan bli avgörande, beror på att de adderas till de reversibla rörelserna, varvid farliga gränsvärden kan överskridas. Om kvarstående längdkrympning drabbar boardens sidor osymmetriskt, uppstår välvning, vars effekter diskuteras närmare bl.a. i avsnittet 'Formstabilitet'.

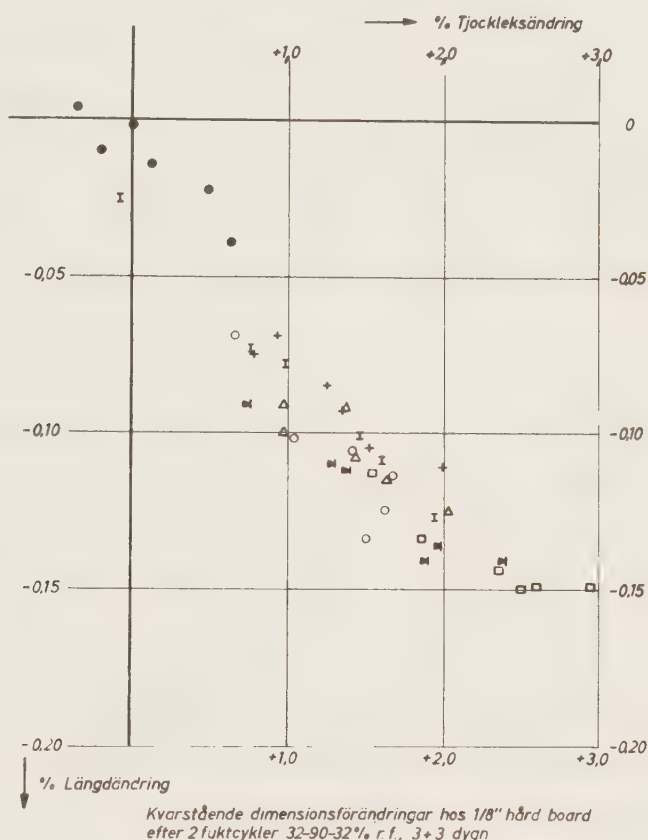
Den viktigaste slutsatsen man kan draga ur hela detta resonemang är nog, att boarden kan stabiliseras mot successivt uppkommande, kvarstående dimensionsförändringar om den nämligen redan vid fabrikationen exponeras för en fuktcykel kraftigare än de som senare kan förmodas inträffa. På förekommen anledning betonas, att det räcker med en enda sådan effektiv uppfuktning samt att den icke behöver drivas till någon särskilt hög fuktkvot hos boarden.

Innan resonemanget föres över på jämförelser med praktikens fuktväxlingar samt frågan om lämplig provningsmetodik, skall några exempel lämnas på sambandet mellan längd- och tjockleksförändringar.

Figur 41 redovisar ett sådant direkt samband hos 42 mätvärden från 1965 för rutinmässigt provad 1/8" hård board av 7 olika fabrikat. Varje inprickat värde utgör medelvärde för 6 samtidigt uttagna provkroppar.

Figur 41

Samband mellan
irreversibla längd-
och tjockleksändringar.

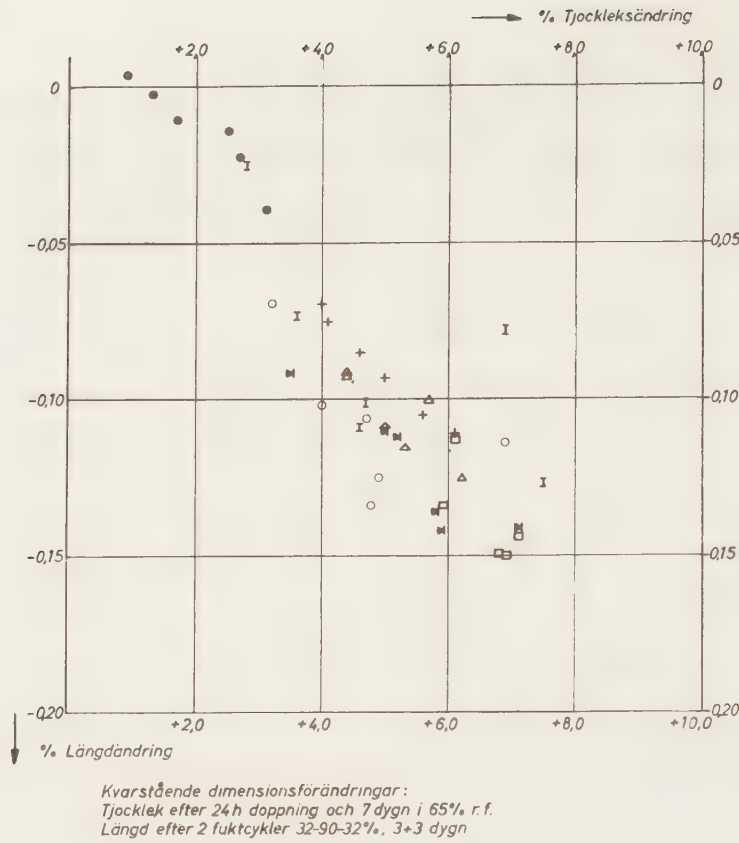


Ett gott samband finnes också mellan kvarstående längdminskning vid fuktcykler samt kvarstående tjockleksökning efter vattendoppning, vilket visas i figur 42. Kvalitéerna är de samma som i figur 41.

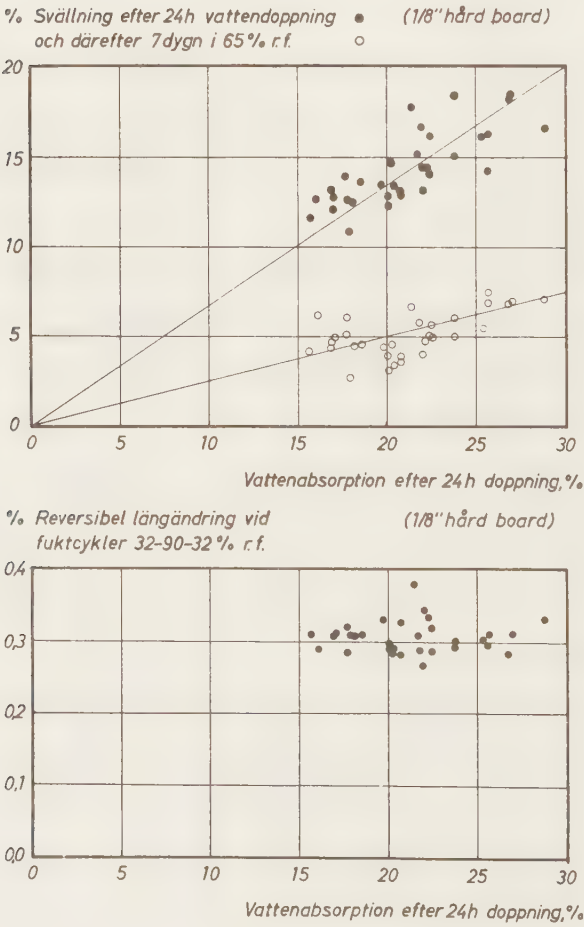
Det övre diagrammet i figur 43 påvisar direkt samband mellan vattenabsorption och svällning vid doppning, även kvarstående svällning, men då med något annorlunda gruppering. Däremot finnes ingen bestämd relation mellan storleken av vattenabsorptionen vid doppning och samma boardkvaliteters reversibla rörelser i fuktig luft.

Traditionell vattendoppning kan alltså ge en grov uppfattning om hårda boardkvaliteters tendenser till kvarstående tjocklekssvällning och därmed längdkrympning vid klimatväxlingar men icke om deras reversibla rörelser.

Figur 42



Figur 43



Vid tillverkning av hård och halvhård board varmpressas porösa våtark till bråkdelen av sin tjocklek och kvarhålls i detta läge, tills fiberbindningar fixerats genom torkning. Komprimeringen blir i huvudsak plastisk p.gr. av fukten och värmen, men en liten återfjädring sker, när presstrycket lättat, och ytterligare något ökar tjockleken vid ev. fuktcykler, såsom visats ovan.

Vid sammantryckning av våtarkets struktur borde arkets ytmått öka av geometrisk skäl, men både denna rörelse och en motriktad naturlig krympning vid efterföljande torkning förhindras av friktionen mot pressplattorna. De uppkomna inre spänningarna relaxeras till viss del i värmen under pressning och härdning samt inom den närmaste tiden efter fabrikationen.

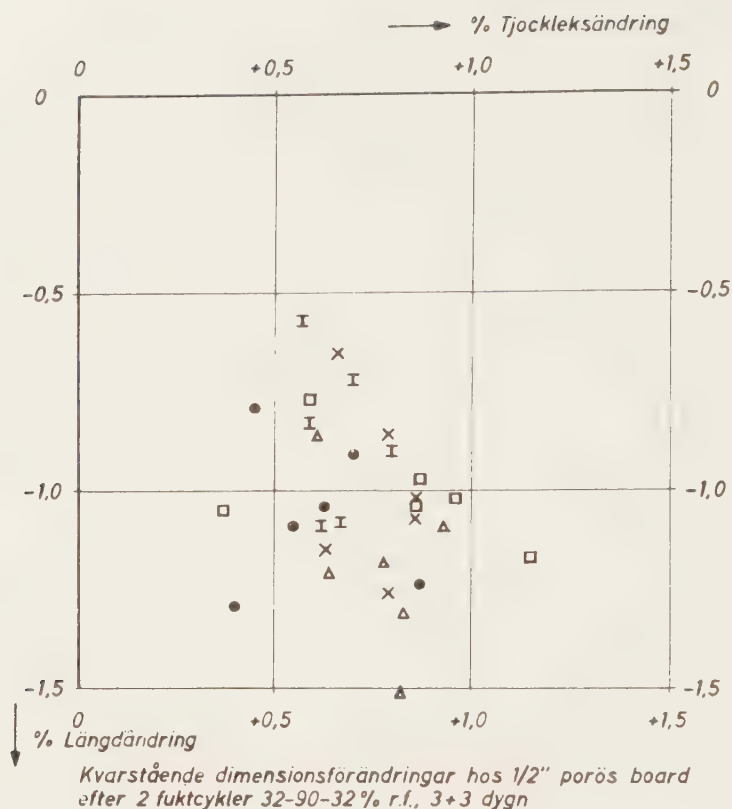
Eftersom den påtvingade deformationen i tjocklek varit dominerande, är en återfjädring i denna riktning primär och förorsakar irreversibla rörelser av storleken 1 % enligt ovan. Detta medför sekundärt en ytmåttändring av endast - 0,1 % i vardera huvudriktningen, sålunda totalt en ökning av volym och porositet.

Det har ibland antagits, att de intorkade spänningarna i board skulle ha samma karaktär som i papper, d.v.s. vara riktade väsentligen i fiberarkets plan. Detta är emellertid mindre troligt ty i så fall skulle en utlösning av spänningarna knappast förorsaka den nyssnämnda proportionen mellan längd- och tjockleksändringar. Kontrollprov har också visat väsentligt större förhållande mellan längd- och tjockleksdeformationer, när normalspänningar applicerats i skivans plan.

För porös board måste resonemanget bli något annorlunda. Kompressionen av våtarket drives icke på samma sätt vid tillverkningen, och arket har stor rörelsefrihet under torkningen. Att betydande spänningar ändå kan uppkomma, beror bl.a. på att ytskikten torkar först och utsättes för tryckspänning, när de inre delarna av arket torkar och krymper. (Ev. oplanhet hos färdiga skivor bör alltså kunna undvikas genom lämplig balansering av torkeffekten mellan över- och undersida, och detta även om arkets uppbyggnad är något osymmetrisk.)

Figur 44 redovisar kvarstående dimensionsförändringar hos porös board av 5 fabrikat, varitidera provat 6 gånger under 1965. Varje resultat utgör medelvärde av 6 provkroppar. Visserligen får porös board liksom hård en ökning i tjocklek och

Figur 44

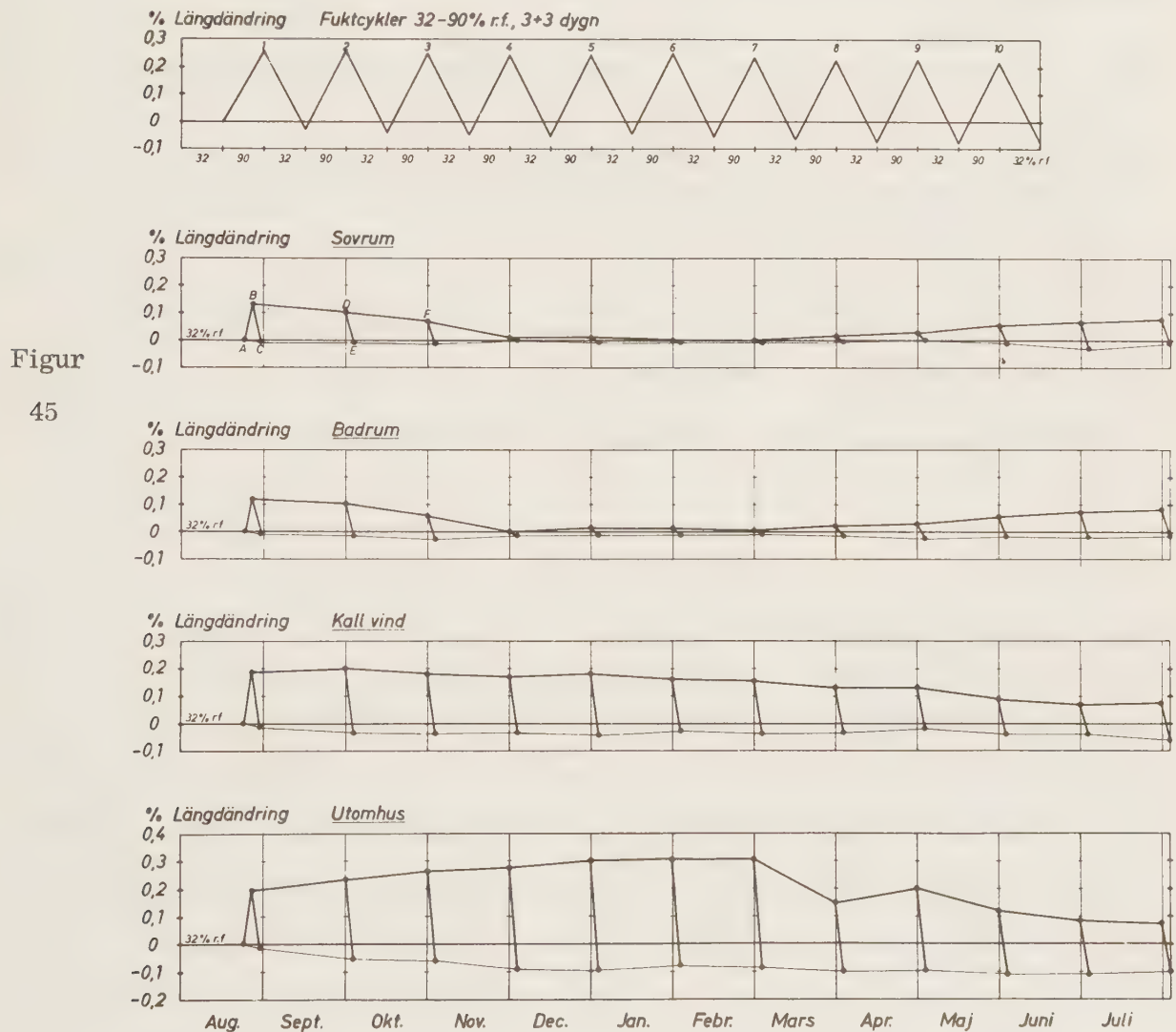


minskning i längd, men sambandet är icke alls lika utpräglat. De intorkade spänningarna är uppenbart av annan karaktär, men ytmåtsändringen är lika stor som för hård board trots att de porösa arken torkat friliggande på rullar i rörelse.

I detta sammanhang bör nämnas, att de reversibla fuktrörelserna vanligen är större i arkens tvärriktning än längdriktning ('maskinriktning'). Skillnaden som i enstaka fall kan nå upp till 20 % hos hård board och 30 % hos porös, beror på att fibrerna automatiskt orinterar sig i upptagningsmaskinens arbetsriktning vid arkets formning. De irreversibla rörelserna uppvisar vanligen helt andra proportioner längs och tvärs än de reversibla.

För att jämföra laboratoriets fuktcykler 32 - 90 % r.f., 3 + 3 dygn, med de i praktiken förekommande genomfördes under 1958 - 1959 följande provning. Ur en skiva 1/8" hård board av god och jämn kvalitet uttogs 50 st provkroppar. Av dessa fick två genomlöpa 10 st laboratoriecykler av sedvanligt slag. Övriga 48 mättes och uppdelades i 4 grupper, som placerades i skilda lokaler, nämligen sovrum,

badrum, uoppvärt vindsutrymme samt utomhus under skärmtak. Diagrammen i figur 45 illustrerar det fortsatta händelseförloppet. Tre dagar efter den första mätningen vid punkten A togs ett prov ur varje grupp tillbaka för mätning, vilket gav värden vid punkt B. Efter tre dygns torkning i 32 % r.f. gjordes ny mätning samt nollräkning, vilket gav besked om dittills uppkommen kvarstående längd-krympning, punkt C. Liknande mätningar utfördes sedan på fyra andra provkropp-par varje månad under ett år framåt.



Det översta diagrammet visar hur längden successivt förändrats hos de två prover som genomlöst 10 laboratoriecykler.

Övriga diagram avspeglar i första hand de säsongsmässiga klimatvariationerna. I sovrum och badrum har proverna under vintern samma längd som vid 32 % r.f. Utomhus blir längdökningen 0,3 % under de fuktigaste månaderna, d.v.s. något mer än vid laboratoriecyklernas 90 % r.f. under 3 dygn (överensstämelsen skulle blivit ännu bättre med de effektivare lab.-cykler som körts under senare år). Diagrammet för 'kall vind' bekräftar påståendet, att uppvärmda vindsutrymmen aldrig blir särskilt fuktiga i välbyggda hus. Men diagrammen ger också andra, minst lika intressanta besked :

1. En enda laboratoriecykel har givit boarden samma kvarstående längdändring som ett års förvaring i bostadsrum.
2. Klimatväxlingarna i sovrum och badrum har haft lika stor inverkan på provkropparna. Tillfälligt hög r.f. i badrummet har ej haft större betydelse.
3. Ett års förvaring på kall vind motsvarar 3 å 5 lab.-cykler. Samma effekt erhålles redan efter en månad utomhus.
4. Ett helt år utomhus har givit något större irreversibel effekt än tio lab.-cykler.

Såsom bl.a. figur 5 b visat, är klimatväxlingarna stora och snabba utomhus beroende på temperaturförändringar under dygnet, väderlekens växlingar samt säsongsmässiga variationer. Fuktigheten ligger dessutom på en hög nivå. Allt detta medför stora dimensionsförändringar, även irreversibla sådana.

Inomhus är luftfuktigheten låg året runt, vilket bekräftas av figur 15 - 19. Inverkan av väderlekens växlingar dämpas. Boardens fuktrörelser blir små så länge lokalerna hålles uppvärmda, men skador uppstår lätt om byggnaden tidvis står oeldad.

Förslag till provningsnorm för hygroskopiska fuktrörelser.

Det finns skäl att sammanfatta de många synpunkter som kan anläggas på metoder för mätning av fuktrörelser ('dimensionsstabilitet'), särskilt som försök

med upprepade fuktcykler tycks ha blivit på modet samt ofta genomföres och utvärderas på otillfredsställande sätt.

1. Bestämningen bör omfatta vikt, ytmått och helst även tjocklek.

Viktförändringar ger besked om fiberslag, härdningsgrad och inverkan av ev. impregnering. En enkel fuktkvot-bestämning vid 65 % enl. SIS 23 51 04 kan ge enormt stora fel - mer än 4 % fuktkvot p.gr. av hysteresiseffekt - trots att provningsmetoden i andra avseenden arbetar med små toleranser och anvisar rapportering av fuktkvot i 0,1 %.

Förändringar i ytmått skall mätas både längs och tvärs skivorna.

Tjockleksförändringar hos tunn board har underordnat intresse men bör mätas för tjockare kvalitéer, vars svällning räknad i absolut mått är nämnvärd.

2. Intervallet 30 - 90 % r.f. har flera fördelar förutom att redan vara accepterat i några länder. Det är stort nog att ge bra mätnoggrannhet utan att därför komma upp i det känsliga området mellan 90 och 100 % r.f. Både 30 och 90 % har god anknytning till praktiskt förekommande klimat. Möjligen är gränsen 90 % något hög, men detta motväges av att full jämvikt ej hinner inväntas vid mätcykler.

3. Lufthastigheten bör vara så stor, att absorptionshastigheten blir beroende av den inre fuktvandringen i materialet. Av praktiska skäl bör värden omkring 0,5 m/sek vara att föredraga. Mycket låg lufthastighet medför svårigheter med fuktregleringen, medan hög hastighet är svår att få likformig. Det är angeläget, att provkropparna sinsemellan exponeras så lika som möjligt.

4. Temperaturen påverkar absorptionshastigheten och måste därför hållas konstant, lämpligen vid 20 °C såsom vid annan boardprovning. (P.gr. av fläktenergien får klimatboxarna lätt någon grads övertemperatur, varför man bör eftersträva kylning på olika sätt och i varje fall undvika att placera fläktmotorer och ev. magnetventiler inne i boxarna.)

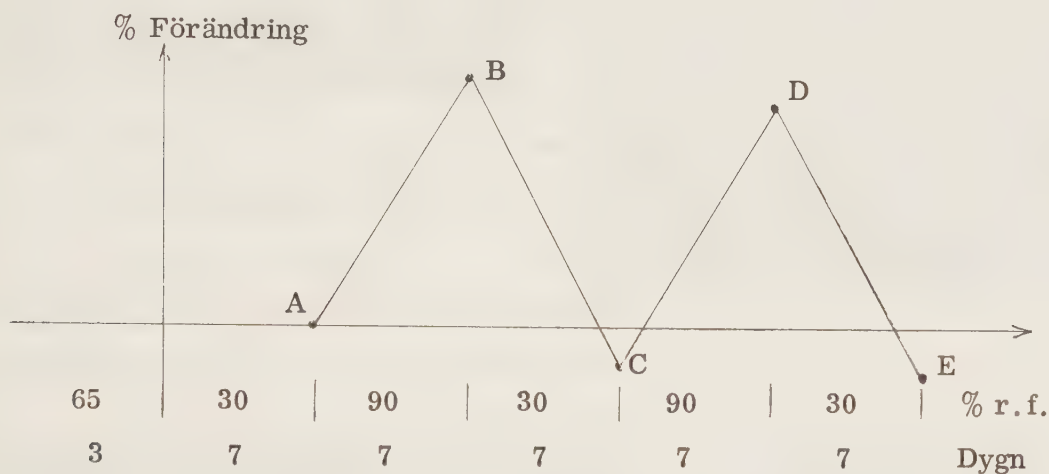
5. Kapaciteten hos klimatboxarnas fuktreglering måste vara stor, särskilt vid konditionering i 90 % r.f. Vid samtidig inläggning av maximal mängd torra prover

skall insvängning till 90 % ske inom maximerad tid, förslagsvis ca 30 minuter, möjligen 1 h vid mindre noggranna mätningar. Kravet kan synas hårt och föga överensstämmande med praktikens långsamma fuktväxlingar, men om regleringskapaciteten är otillräcklig, blir sorptionsförloppet beroende av mängden gods under konditionering och därmed olika från den ena cykeln till den andra. (Vid fuktregering med saltlösningar, som tidigare använts vid laboratoriet, är det praktiskt omöjligt att uppnå nyssnämnda korta tider eftersom sorptionen hos lösningarna går mycket långsamt, när dessas ångtryck nästan uppnåtts i atmosfären. Man ser ofta i litteraturen, att viss konditionering skett över skålar med saltlösning, men effekten därav är mycket tvivelaktig om ej cirkulation arrangerats både i atmosfären och lösningen. Saltlösningar kan f.övr. föranleda okontrollerbar kontamination i olyckliga fall.)

6. Cyklernas varaktighet kan diskuteras. Idealet vore kanske att driva konditioneringen tills varje provkropp nått praktiskt förekommande fuktkvot-gränser, men detta är knappast genomförbart. Även klassningen i 'fuktsnabba' och 'fukttröga' sorter med olika konditioneringstid blir i längden ohållbar eftersom det alltid finns tveksamma mellanting. Vid laboratoriet har utförts jämförande mätningar, vilka nu föranlett en övergång till cykler 7 + 7 dygn för alla kvalitéer.
7. Av flera skäl vore det önskvärt att begränsa mätningarna till en enda cykel, men detta förefaller ej möjligt, i varje fall icke utan en avslutande kalkylering av de fel hysteresis-förändringar förorsakat. Om konditioneringen sker enligt förslagen ovan, bör emellertid två fuktcykler vara tillräckligt. Att rutinprovningen förut omfattat tre cykler motiverades med önskan att nå säkrare medelvärden samt förbättrad kontroll av en mindre perfekt utrustning med begränsad regleringskapacitet.
8. Uträkning och rapportering skall omfatta reversibla vikt-, längd- och tjockleksändringar kalkylerade som skillnaden mellan den andra cykelns fuktvärden

(D i figur 46) och medelvärde av föregående och efterföljande torrvärden (C och E). Förändringarna räknas som procent av utgångsvikt och -mått efter den förberedande torkningen i 30 % r.f. (A).

Dessutom skall irreversibla läng- och tjockleksändringar efter första och andra cykeln (C och E) kalkyleras och rapporteras i procent liksom ovan, längdändringen även efter nollräkning.



Figur 46

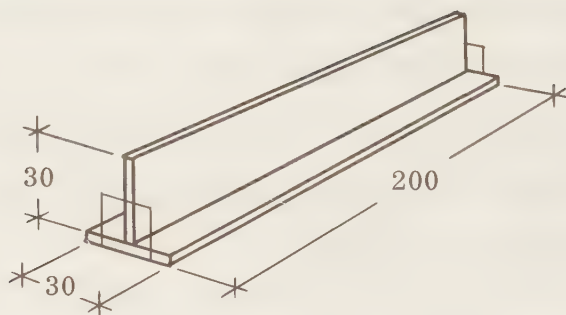
Värdet (B) efter första uppfuktningen behöver ej mätas om man icke önskar använda intervallet B - C för en första bedömning av reversibla förändringar.

I ovanstående förslag har avsiktligt undvikits att precisera provkropparnas storlek och form samt arrangemang av mätpunkter. Dessa praktiska detaljer kan lösas på flera acceptabla sätt, men på förekommen anledning måste varnas för den välvning proverna kan få vid någon fuktighet. Riktning till planhet vid mätningen medför lätt okontrollerbara mekaniska deformationer. Särskilt blir detta fallet om provkropparna har stort format både i längd och bredd, t.ex. 30 x 30 cm, vilket hos osymmetriskt uppbyggda skivor medför sfärisk välvning och därmed deformationer av normalspänningar, som överlagras de egentliga fuktrörelserna.

Vid laboratoriet har provkropparna vanligen utformats så som figur 47 visar. Därmed förhindras välvning, och de vid ändarna pålimmade glasplattorna ger

distinkta mätytor för längdmätning.

Figur 47



Tjockleken har hittills mätts med mikrometer i tre punkter på livet, men nu har på prov börjat användas den typ av 'integrerande' mätare med gummikuddar som visats i figur 27, och detta tycks gå lika bra.

Jämförelser har gjorts med T-formade provkroppar dels av större längd, dels något större bredd hos liv och fläns, men slutresultaten har blivit överensstämmande. Inga systematiska skillnader kan observeras.

Figur 48 a och b visar den typ av klimatlådor som hittills använts. De två centrifugalfläktarna blåser luften över saltlösningar i skålar som täcker botten i lådans nedre våning, varefter luften strömmar tillbaka i övre våningen, där provkropparna staplats i flera skikt med växlande riktning hos fiskbensmönstret.

Figur 48 c visar nybyggda klimatskåp för 30 och 90 % r.f. Fuktregleringen sker med Munthers självregenererande torkaggregat respektive aerosolapparat med droppfångare, båda styrda av hygrostater. Intrimning och kontroll av dessa utföres med Assmann-psykrometer.

Den fuktreglerande luftströmmen dirigeras till stor del direkt mot hygrostaterna, vars känslighet är $\pm 1,5$ % r.f. Genom detta knep kommer regleringsimpulserna att bli korta men frekventa och r.f.-variationerna i skåpens allmänna luftcirkulation mindre än man kan mäta med Assmann-instrumentet. Med kraftiga propellerfläktar blåses luften från skåpens undre delar rakt upp mot de vridbara, horisontella 'karusellerna', vid vars periferi provkropparna hänges. Sedan luftströmmen passerat radiellt ut mellan dessa, återgår den till nedre våningen genom skåpens returschakt, där längre (122 cm) provremsor kan hängas



Figur 48 a och 48 b
Äldre klimatlåda



Figur 48 c. Nya klimatskåp

för konditionering och ev. en hygrograf placeras. De vanliga T-formade provkropparna hanteras genom plexiglasluckorna i skåpens fronter, varvid karusellerna successivt vrides. Tack vare den stora regleringskapaciteten störes ej skåpets klimat märkbart, och man behöver icke som förr reglera hela arbetsrummets klimat efter den klimatbox som skall öppnas.

Den nya typen av klimatskåp är mycket arbetsbesparande liksom övergången till endast två cykler, men en kvarstående nackdel är den långa tid en komplett bestämning av hygroskopiska egenskaper kräver. Enligt figur 46 åtgår 38 dygn mot totalt 27 dygn för 3 cykler $3 + 3$ dygn (inkl. väntan vid söndagar).

För att radikalt reducera denna tid har förberedande försök gjorts vid laboratoriet med fuktcykler i ren vattenånga, som genom överhettning till olika temperaturer givits lämplig relativ fuktighet, t.ex. motsvarande traditionella 30 och 90 %. Eftersom fuktjämvikten i någon mån är temperaturberoende, kan man ej finna rätt överhettningsgrad genom en enkel omräkning baserad på trycket hos mättad ånga vid olika temperaturer utan man får pröva sig fram.

Konditionering i 'ångbox' har flera stora fördelar: Absorptionshastigheten blir så stor, att mätning kan genomföras redan inom en dag eller i varje fall ett dygn. Fuktreglering sker med två kontakttermometrar, som växelvis får styra temperaturen till exempelvis 105 och 130 °C. Hysteresis-effekten är mycket liten vid hög temperatur, varför en enda fuktcykel troligen är tillräcklig. De irreversibla rörelserna blir stora p.gr. av den snabba fuktningen, vilket ger tydlig klassning av skilda kvalitéer. Tack vare kort konditioneringstid får ångboxen så stor kapacitet, att den endast behöver rymma ett fåtal provkroppar samtidigt. Dessa kan därför placeras direkt i mätfixturer inbyggda i boxen, så att denna ej behöver öppnas för mätning.

Men metoden har också några nackdelar, som visserligen kan bemästras men förorsakar komplikationer: Provkropparna och de inbyggda mätanordningarna erhåller termiska rörelser, när fuktigheten (överhettningsgraden) ändras. Vid uträkning av slutresultaten måste detta fel korrigeras. Det är

enkelt att inne i boxen mäta längdförändringar, något besvärligare att bestämma tjockleksrörelser men komplicerat att väga provkropparna. Vid en snabb-metod kan dock längdmätning vara nog. Större variationer i barometerståndet måste kompenseras, varför boxen bör stå under svagt övertryck reglerat t.ex. med ställbart vattenlås på det avgasrör som fordras för utdrivning av luft, när lådan startas.

En väl genomtänkt och utförd box för ångkonditionering ger så många fördelar, att fortsatt utvecklingsarbete på metoden skall bedrivas vid laboratoriet.

Mätresultat.

De fem skivtyper som studerats och redovisats närmare även i andra sammanhang, se t.ex. figur 34, har provats vid tre fuktcykler 32 - 90 % r.f. 7 + 7 dygn. Därvid uppmätta förändringar i vikt, längd och tjocklek illustreras i figur 49. Resultaten är baserade på åtta provkroppar tagna ur två skivor av varje typ (utom plywood). Fyra prover har uttagits i skivornas längdriktning och fyra i tvärled.

Vikt-kurvorna för plywood och board visar tydligt hur första cykeln medför förskjutning inom hysteresislingan och därmed minskad amplitud för plywood men ökad för boardsorterna.

Trots oförändrad eller t.o.m. ökad torrsvikt krymper spånskivan och boardsorterna i längd samtidigt som tjockleken ökar avsevärt för varje cykel.

Mer utförliga besked om de fem skivornas hygroskopiska förändringar lämnas i nedanstående tabell, där de reversibla rörelserna kalkylerats som medelvärden för andra och tredje cykeln. De irreversibla förändringarna redovisas efter var och en av de tre cyklerna.

Några kommentarer till tabellerna kan vara motiverade :

Mätvärden lämnas för varje enskild provkropp, först fyra uttagna i längdriktning (för plywood i ytskiktens fiberriktning), därefter fyra i tvärriktning. Medelvärden och spridning i vikt- och tjockleksändring har räknats för alla åtta tillsammans, medan längdändring anger var grupp för sig.

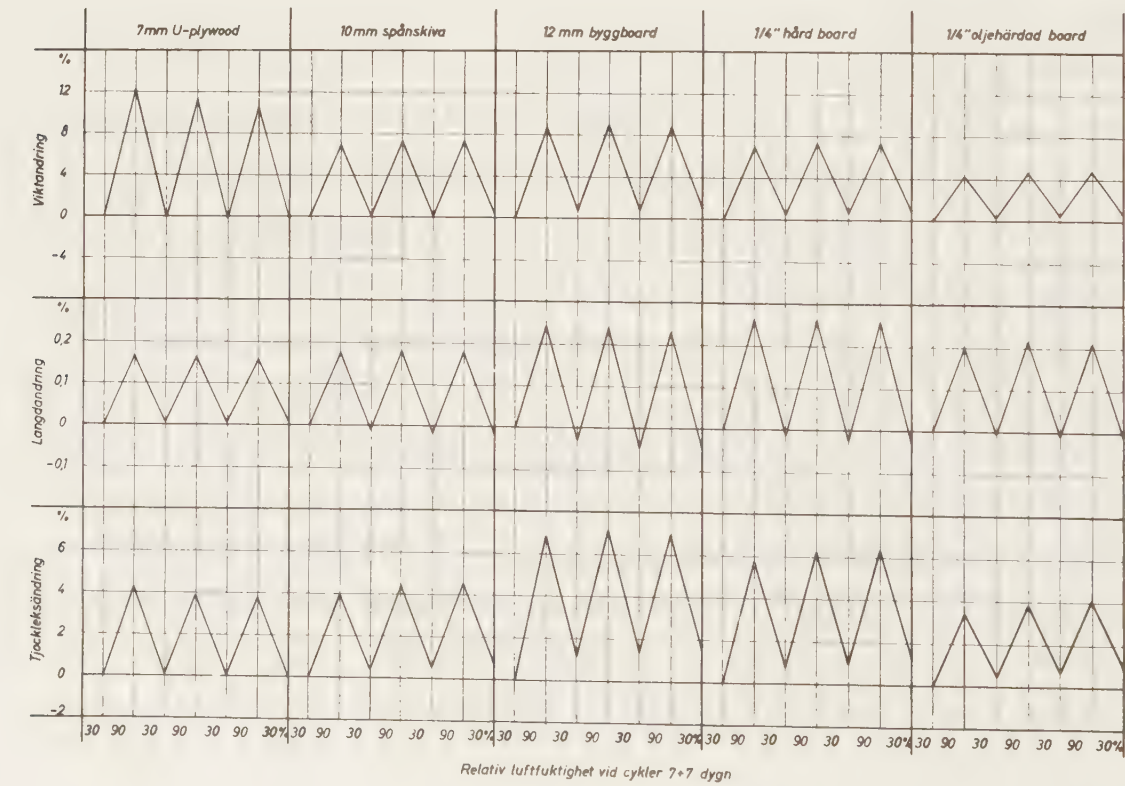
För plywood noteras ganska stora skillnader i reversibla rörelser längs och tvärs, vilket beror på den aktuella skivans uppbyggnad. Ytskiktens fiberriktning är nämligen dominerande. Fanérens tjocklek är 1,0 - 1,6 - 1,8 - 1,5 - 1,3 mm, d.v.s. totalt 4,1 mm 'längs' och endast 3,1 mm 'tvärs'. Även kvalitéen kan variera mellan fanéren. De yttre kan t.ex. ha svarvats ur bättre trä och nått högre temperatur vid pressningen.

För övriga skivor är fuktrörelserna ganska lika i de två huvudriktningarna. Board brukar dock ha större rörelser i tvärled.

Samtliga mätvärden för spånskivan är osedvanligt gynnsamma. Snarlika skivor av andra, förstklassiga fabrikat har ofta reversibla rörelser av ca 0,27 % i längd och 4,7 % i tjocklek.

Däremot finnes byggboard och hård board av dimensionsstabilare kvalitéter än de provade. Masonite har t.ex. reversibla längdrörelser av 0,22 ± 0,24 % och tjockleksförändringar omkring 4 % samt gynnsamma värden irreversibelt.

Särskilt oljehärdad board marknadsföres i mycket skiftande kvalitéter, varav en del är föga bättre än vanlig hård board. Den i tabellen redovisade sorten kan anses vara en toppprodukt.



Figur 49

Reversibla hygroskopiska ändringar vid 3 fuktcykler 30 - 90 % r.f. 7 + 7 dygn.

Egenskap	U-plywood 7 mm	Spånskiva 10 mm	Byggboard 12 mm	Hård board 1/4"	Oljehärdad 1/4"
<u>Viktändring,</u>	11,18	7,28	7,90	6,83	4,33
<u>reversibel</u>		6,91	7,99	6,87	4,14
%		7,47	7,92	6,46	4,32
		7,23	7,98	6,53	4,17
	11,10	7,15	7,90	6,77	4,33
		6,99	8,01	6,76	4,25
		7,32	7,98	6,40	4,31
		7,16	8,11	6,63	4,22
Medelvärde	11,14	7,19	7,97	6,66	4,26
Spridning $\pm s$		0,21	0,02	0,19	0,06
<u>Längdändring,</u>	0,122	0,210	0,257	0,282	0,232
<u>reversibel</u>		0,198	0,259	0,277	0,230
%		0,172	0,260	0,277	0,233
		0,176	0,259	0,283	0,230
Medelvärde längs	0,122	0,189	0,259	0,280	0,231
	0,187	0,207	0,273	0,294	0,210
		0,203	0,296	0,242	0,211
		0,191	0,295	0,265	0,215
		0,197	0,302	0,293	0,207
Medelvärde tvärs	0,187	0,199	0,291	0,273	0,211
Totalt medelvärde	0,155	0,194	0,275	0,276	0,221
Spridning $\pm s$		0,012	0,009	0,016	0,006
<u>Tjockleksändring,</u>	3,98	4,28	5,59	5,10	3,52
<u>reversibel</u>		3,74	5,54	5,30	3,15
%		4,23	5,36	5,18	3,22
		3,87	5,57	5,30	3,18
	3,61	3,83	5,64	5,30	3,57
		3,51	6,15	5,26	3,10
		3,84	5,88	5,32	3,41
		3,75	5,71	5,54	3,30
Medelvärde	3,80	3,88	5,68	5,29	3,31
Spridning $\pm s$		0,26	0,24	0,15	0,18

Irreversibla hygroskopiska ändringar vid 3 fuktcykler 30 - 90 % r.f. 7 + 7 dygn.

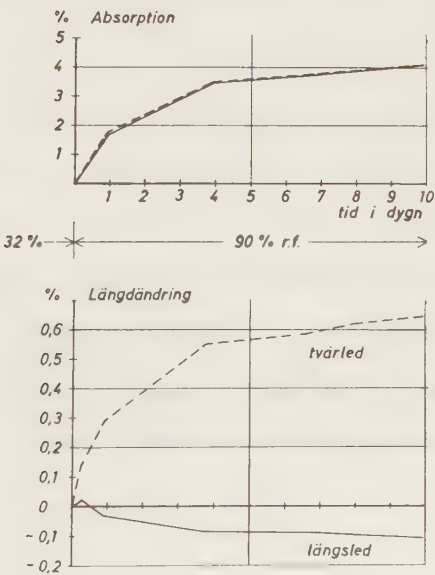
Egenskap	cykel	U-plywood 7 mm	Spånskiva 10 mm	Byggboard 12 mm	Hård board 1/4"	Oljehärdad 1/4"
<u>Längdändr. %</u> , <u>irreversibel</u> Mv och $\pm$ s efter 1 2 3 cykler Ej nollräknat	1	+ 0,005	- 0,011 $\pm$ 0,003	- 0,029 $\pm$ 0,011	- 0,013 $\pm$ 0,003	- 0,005 $\pm$ 0,004
	2	+ 0,005	- 0,018 $\pm$ 0,004	- 0,047 $\pm$ 0,015	- 0,025 $\pm$ 0,004	- 0,009 $\pm$ 0,005
	3	+ 0,007	- 0,019 $\pm$ 0,002	- 0,048 $\pm$ 0,014	- 0,029 $\pm$ 0,005	- 0,013 $\pm$ 0,006
	1	+ 0,005	- 0,011	- 0,084	- 0,048	- 0,027
	2	+ 0,005	- 0,018	- 0,103	- 0,070	- 0,042
	3	+ 0,007	- 0,035 $\pm$ 0,008	- 0,122 $\pm$ 0,016	- 0,090 $\pm$ 0,016	- 0,060 $\pm$ 0,007
<u>Tjockl.ändr. %</u> , <u>irreversibel</u> Mv och $\pm$ s efter 1 2 3 cykler Ej nollräknat	1	+ 0,05	+ 0,40 $\pm$ 0,12	+ 1,18 $\pm$ 0,12	+ 0,77 $\pm$ 0,30	+ 0,46 $\pm$ 0,10
	2	+ 0,05	+ 0,57 $\pm$ 0,15	+ 1,37 $\pm$ 0,15	+ 0,99 $\pm$ 0,31	+ 0,69 $\pm$ 0,12
	3	- 0,05	+ 0,77 $\pm$ 0,17	+ 1,53 $\pm$ 0,17	+ 1,23 $\pm$ 0,31	+ 0,86 $\pm$ 0,15
	1	+ 0,05	+ 0,40	+ 1,18	+ 0,77	+ 0,46
	2	+ 0,05	+ 0,57	+ 1,37	+ 0,99	+ 0,69
	3	- 0,05	+ 0,77	+ 1,53	+ 1,23	+ 0,86

Eftersom board och spånskivor ofta sammanfogas med andra material, kan några uppgifter om dessas hygroskopiska rörelser vara av intresse :

Material	Reversibel ytmått-ändring % vid intervallet 32 - 90 % r.f.	Mätning utförd vid laboratoriet år
Träullit	≈ 0,3	1959
Kork, expand.	0,3	1959
Linoleum	- 0,1 längs + 0,7 tvärs	1958 och 1967
Plastlaminat	0,3 längs 0,6 tvärs	1965
Cellplast, polystyren och uretan	< 0,01	1958 - 1967 (Dimensionsförändr. vid åldring)
Eternit halvhård	0,12	1967
Lättbetong	0,05	1967
Sandsten	0,02	1964
Marmor	< 0,01	1964

Figur 50

Fuktrörelser hos
linoleum vid
ändring av r.f.
från 32 till 90 % .



Formstabilitet

Redan 1957 konstaterades vid laboratoriets fullskaleprov med skåpluckor och board på väggar ett utpräglat samband mellan buckling hos monterad board och skivornas välvning i fritt tillstånd vid varierande luftfuktighet. Tydligen hade boardens ursprungliga form stor praktisk betydelse, varför dessa frågor om 'formstabilitet' kommit att studeras med stort intresse, medan däremot tillverkare, konsumenter och standardiseringsorgan hittills förefallit tämligen ointresserade.

Orsaken till välvning är att ytskikten sväller eller krymper olika mycket. Detta kan i sin tur bero på många faktorer :

1. Osymmetrisk uppbyggnad av arken medför oliksidiga rörelser vid fuktväxlingar.
2. Vid olämplig torkteknik slår sig porös board redan vid tillverkningen.
3. P.gr. av hysteresis eller oliksidigt klimat kan skivans båda ytskikt få olika fuktighet.
4. Oliksidiga fuktväxlingar förorsakar osymmetrisk kvarstående krympning av ytskikten.

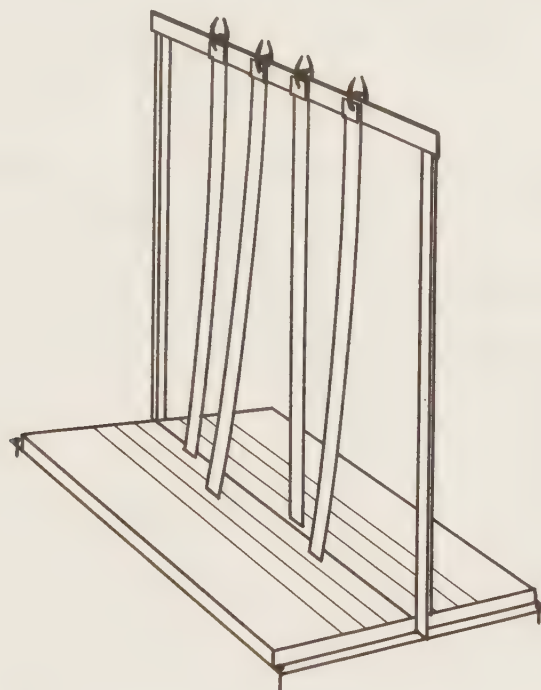
Vanligen uppkommer välvning i skivans båda huvudriktningar, varför ytan blir dubbelkrökt som kalotten av ett klot eller en ellipsoid.

Det är ganska svårt att under fuktkonditionering placera board så att den helt fritt kan antaga spänningsfri form. Om en skiva placeras liggande, är dess egen tyngd nog för att motverka tendenser till välvning. Acceptabla resultat erhålles om remsor av board ställas på kant på endast två stöd placerade på lämpligt avstånd, d.v.s. drygt hälften av remsans längd. Vid laboratoriets provningar har sådan mätning av välvningens pilhöjd utförts, men normalt har remsor med 4' längd konditionerats hängande med den övre ändens slätsida klämd mot en plan, vartikal yta, varefter den nedre, fria ändens avvikelse från planet noterats och rapporterats i mm. Detta mått på 'välvning' har räknats

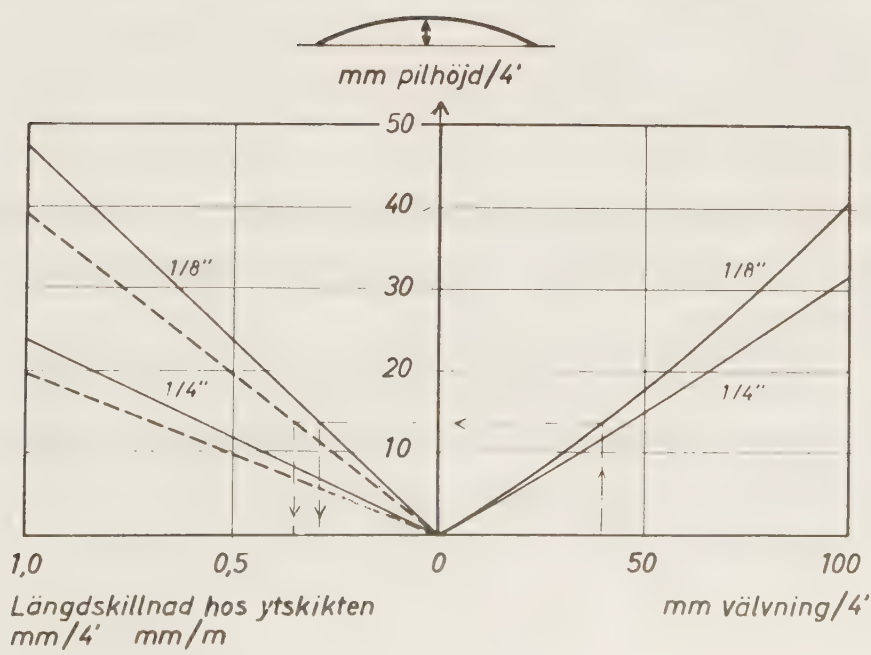
positivt om boardens slätsida varit konvex och negativt om den varit konkav. Figur nr 51 visar apparaten.

Figur 52 redovisar i diagramform empiriskt samband mellan välvning hos sådana hängande, fastspända remsor av hård board och motsvarande pilhöjd hos helt fritt rörliga, kantställda prover. Dessutom anger diagrammet motsvarande teoretiska skillnad mellan ytskiktens längd beräknad under antagande av cirkulär välvning.

Figur 51

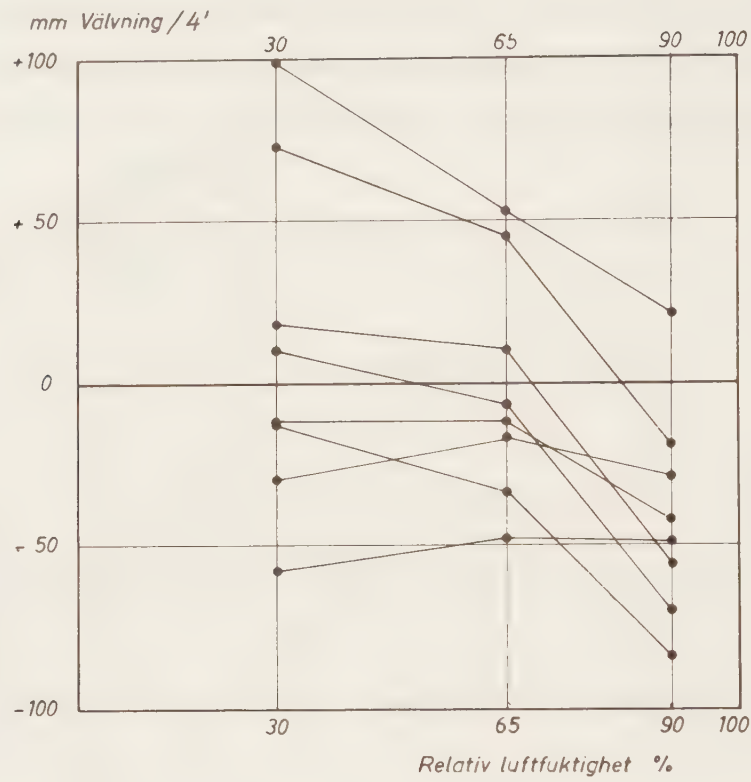


Figur 52



Välvningen hos 1/8" board varierar ofta kraftigt med luftfuktigheten. När denna ökar, sväller slätsidan minst så att den blir konkav vid 90 % r.f. och däröver. Figur 53 visar hur välvningen hos 8 olika kvalitéer 1/8" board utvecklas vid förändrad luftfuktighet.

Figur 53
Välvning hos 1/8" board
vid varierande luftfuktig-
het.



Porös board har vanligen motsatt beteende. Slätsidan (arkets översida vid tillverkningen) är täckt av ett mer finmalt fiberskikt med större fuktrörelser, som gör ytan konvex vid hög fuktighet. P.gr. av den porösa boardens större tjocklek ger dock en viss differens i fuktrörelser mindre välvning än hos 1/8" board. Även denna har ibland ett finmalt ytskikt, men det 'bakas' till stor täthet och stabilitet vid pressningen samt kan dessutom innehålla impregnering av något slag.

Byggboard har i allmänhet bäst planhet av boardsorterna. Sällan finner man större välvning (mätt på hängande remsor) än ± 20 mm inom intervallet 30 - 90 % r.f.

Plywood, i varje fall tunn sådan med högst 5 fanérsnitt, har ofta betydande oplanhet dels beroende på olika trä-kvalitet hos ytskikten, dels oliksidig tjocklek hos dessa förorsakad av ojämnhets sandputsning. Detta tillverkningsfel tycks vara mycket vanligt och uppvisar ibland så stora lokala variationer inom skivorna, att man ej kan ange någon typisk välvning.

Spånskivor av ledande fabrikat behåller däremot planheten bra vid alla normala klimat. Gränserna tycks vara ungefär ± 20 mm välvning för området 30 - 90 % r.f.

Värden för de fem utvalda typ-skivorna lämnas i tabellen nedan, dock har plywood uteslutits p.gr. av stora lokala variationer i välvningen.

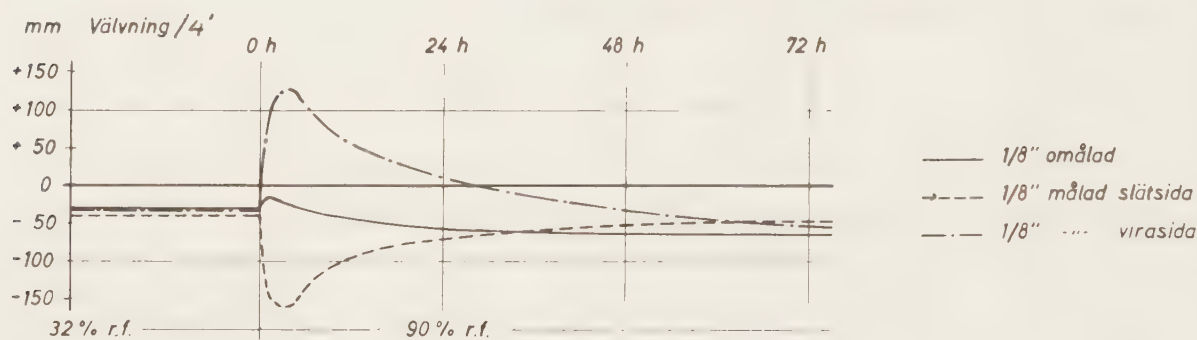
Skiva	Oplanhet mätt som pilhöjd i mm på 4' (1,22 m) längd			
	30 % r.f.	65 % r.f.	90 % r.f.	95 % r.f.
Spånskiva 10 mm	+ 4	+ 3	- 3	- 4
Byggboard 12 mm	- 2	+ 1	+ 1	+ 7
Hård board 1/4"	- 4	+ 7	+17	+20
Oljehärdad 1/4"	+ 6	+ 7	+ 5	+ 8

Positiva värden anger konvex översida (slätsida hos board). Välvningen har genomgående varit liten med undantag för 1/4" hård board, varav planare kvalitéer finnes på marknaden. Observera f.övr. välvningsriktningen, som är normal för tjocka boardsorter.

Om board och andra skivor utsättes för snabba och kraftiga fuktväxlingar, skulle skillnader i absorptionshastighet mellan ytorna möjligen medföra tillfällig välvning. Sådan kan också iakttagas, men den blir liten och övergår redan efter några timmar i en successiv anpassning mot ett nytt jämviktswärde.

Den heldragna kurvan i figur 54 visar sådan utveckling, när en provremsa av 1/8" hård board av standardkvalitet plötsligt exponeras för 90 % r.f. efter torkning i 32 %. Även kvalitéer med särskilt tät slätsida visar likartade rörelser.

Om en kraftigare fuktspärr däremot finnes på någondera sidan, blir effekten av snabba klimatväxlingar större. Är t.ex. boardens slätsida målad, följer välvningen den undre, streckade kurvan i figur 54. Målningen har dämpat absorption och svällning på slätsidan, varför den först blivit starkt konkav. Ett liknande men omvänt förlopp erhålles, när virasidan målas, vilket visas med den övre, streck-prickade kurvan.

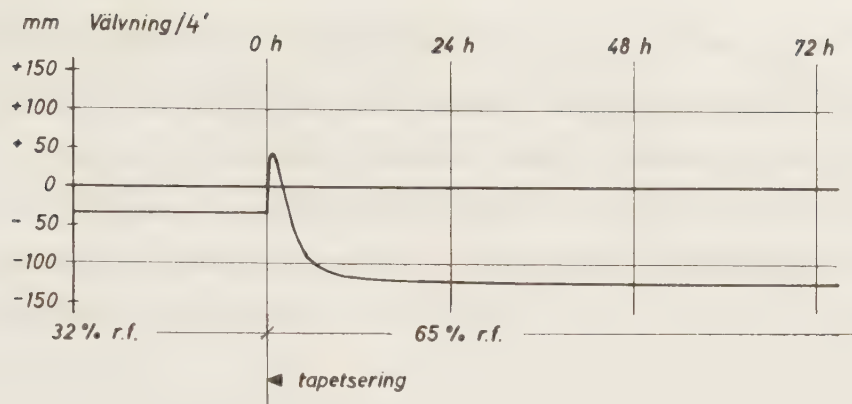


Figur 54

Ett exempel på snabb, oliksidig uppfuktning av board utgör tapetsering. Vanligen är lokalerna i förväg väl uttorkade, när målning och tapetsering skall ske. Fukten från tapetklistret träffar boarden på väggarna momentant. Särskilt moderna, plastade (tvättbara) tapetkvaliteter håller kvar fukten, så att boarden hinner svälla och buckla utåt. Under torkningen, som medför en förhöjd luftfuktighet i rummet, krymper tapeten och spänner boarden åt andra hållet. Den slutliga balansen blir beroende av en mängd omständigheter, bl.a. boardens rörelsemöjligheter i fogarna. En helt fri skiva får först konvex tapetsida men vid torkning övergår den till permanent konkav form, vilket visas i figur 55.

Ett annat exempel på klimatväxling är board plötsligt exponerad för solbelysning. Utförda prov, varav en del omfattat ett helt års exponering av board och board-element utomhus, har visat följande :

- a/ En enkel boardskiva blir vid solbelysning genomvarm och torkar ganska liksidigt, varför planheten bibehålles.



Figur 55

b/ Är boarden målad på endast en sida, blir denna konvex p.gr. av fördröjd fuktavgång, och detta gäller oavsett om den målade sidan är solbelyst eller skuggad. Välvningen hos 4' (1,22 m) långa hängande remsor når ett maximum av 50 $\pm$ 150 mm efter ett par timmar och avtager sedan sakta.

c/ Ett element bestående av dubbla boardskivor med luftspalt eller isolering emellan blir konkavt på solsidan även om alla yttre ytor och kanter är fuktspärrade. Oplanheten består över nätter och t.o.m. under långa perioder av mullet och regnigt väder. (Vid omläggning till de nya mörkblå vägskyltarna provades board-sandwich i ett distrikt omkring Nyköping. Endast skyltar som råkade ha riktning norr-söder bibehöll sin planhet.)

En speciell men praktiskt mycket betydelsefull form av oliksidig fuktning och därav förorsakad välvning föreligger, när board enligt gängse arbetsmetoder fuktas med vatten på virasidan före uppspikning på väggar och andra ytor. Åtminstone tidigare lämnade nämligen tillverkarna anvisning om att skivorna skulle vattnas på virasidorna och staplas med dessa sidor parvis vända mot varandra minst 24 timmar före boardens uppsättning. Efter torkning och krympning kunde man då förvänta en god uppspanning och planhet hos ytorna. Emellertid uppfyllades icke alltid dessa förhoppningar, varför arbetsmetoden studerades i full skala vid laboratoriet. Den visade sig vara dålig, ofta t.o.m. maximalt olämplig.

Enkelsidig blötning medförde en kvarstående krympning av boardens virasida, vilket resulterade i konvex slätsida vid torkning. Eftersom slätsidan vanligen vändes mot rummet (synlig), underlättades buckling.

Risken för buckling åt andra hållet, in mot väggen, är i allmänhet mindre ty isoleringsmaterial, tvärgående reglar, gles panel o.dyl. förhindrar en sådan formförändring. Man bör därför rekommendera förberedande vattenblötning av den boardsida som skall vändas mot rummet, ej tvärtom. Praktiska försök i full skala har också bekräftat, att när boarden fuktas och vändes rätt, tål den mycket högre luftfuktighet, innan buckling inträffar. / 22 21 /.

Emellertid är det svårt att direkt och enbart fukta boardens täta slätsida, d.v.s. den yta man skulle önska krympa i de flesta fall. Det praktiska förfaringssättet blir därför, att man 24 h före boardens användning staplar skivorna med alla virasidor vända uppåt och blötta. De nedåtvända slätsidorna kommer då i kontakt med vattnet på underliggande virasidor, och boarden erhåller en symmetrisk uppfuktning och krympning, varigenom planheten bibehålles.

Man skall icke tro, att samma goda resultat erhålles om enbart vira-fuktad board får ligga länge nog i stapel. En viss men aldrig fullständig fuktutjämning inträffar visserligen, men den kvarstående krympningen förblir störst på virasidan, där uppfuktningen skett snabbast. Detta gäller särskilt om man använt ljust vatten vid fuktningen. Är vattnet kallt, 10 °C eller därunder, blir osymmetrien mindre, men fuktkonditioneringen går opraktiskt långsamt såsom redan visats i figur 31.

Vid dessa undersökningar framkom några resultat, som först tycktes orimliga. Boardsort A med bevisligen små fuktrörelser och god planhet hade monterats på skärmar i klimatrum, där luftfuktigheten stegvis höjdes, tillsammans med andra skivor B av skenbart sämre kvalitet. Ändå inträffade buckling först hos den 'bättre' boarden A. Närmare undersökningar av motsvarande fria skivor bekräftade, att A behöll sin planhet vid varierande luftfuktighet, men de visade också ovanligt stor negativ välvning (konkav slätsida) hos kvalitet B just vid hög luftfuktighet. Denna board tenderade alltså vid proven på skärmar att buckla inåt, vilket skärmarnas konstruktion förhindrade. B-skivorna kom därför

att tåla stora svällningskrafter, innan buckling/krökning inträffade.

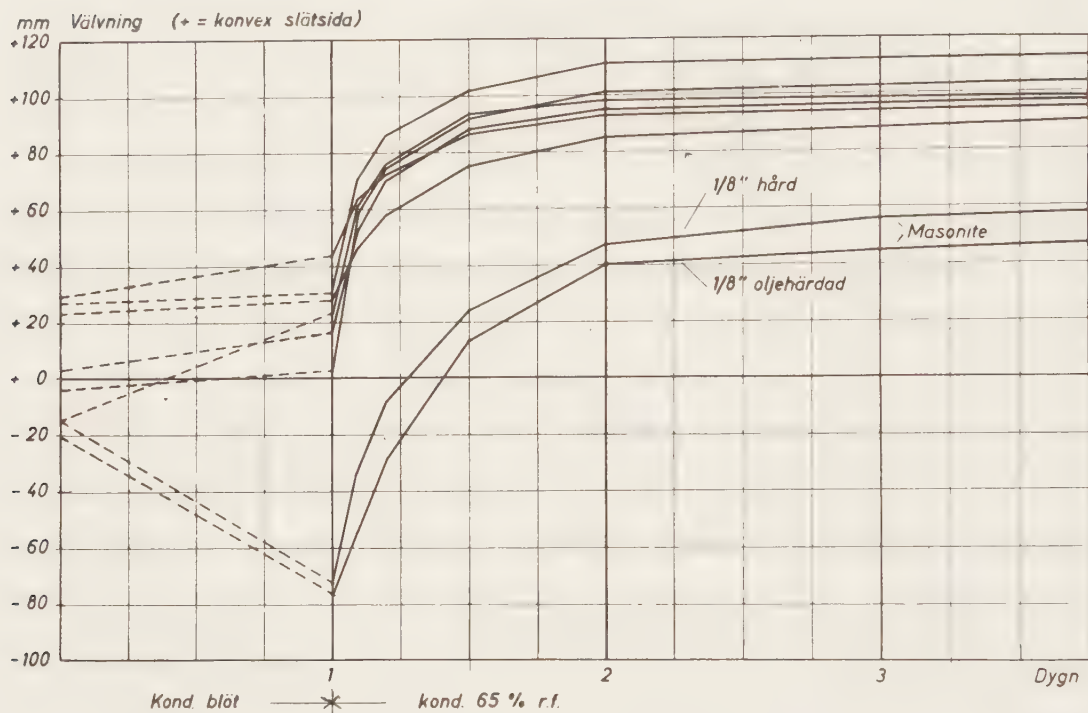
Händelsen aktualiserade behovet av en metod för bestämning av 'formstabilitet', och ett förslag till sådan framlades 1958 av laboratoriet. Efter ett års erfarenheter infördes några smärre förbättringar, varefter mätmetoden oförändrad använts rutinemässigt vid provning av hård board och i tillämpliga delar även andra skivmaterial. Den innebär i korthet följande :

- a/ Ur de aktuella skivorna uttages ett antal remsor 4' (1,22 m) långa och 10 cm breda. Vanligen tages minst åtta remsor i skivornas tvärled (tvärs maskinriktningen), vars välvning brukar vara av störst intresse.
- b/ Remsorna hängas för konditionering i 65 % r.f. 20 °C på en anordning enligt figur 51. Efter ca 3 dygn mätes välvningen. Dessa mätvärden kan kallas A_1 A_2 A_8 .
- c/ Remsorna A_1 och A_2 flyttas till motsvarande anordning i 32 % r.f. samt A_3 och A_4 till 90 % r.f., där mätning sker efter ytterligare 3 dygn. Ev. kan dessa fyra remsor avslutningsvis mätas igen i 65 % r.f.
- d/ Remsor A_5 - A_8 placeras med virasidan uppåtvänd på en horisontell bänk. På varje remsa utpenslas så jämnt som möjligt 20 ml destillerat vatten av 20 °C, varvid vattnet dock ej skall spridas ända ut till långkanterna utan endast till ca 5 mm därifrån.
 Remsorna läggs därefter genast ihop parvis med virasidorna mot varandra, stickas in i en drygt 4' (1,22 m) lång påse av tät plastfolie samt läggs så på horisontellt underlag under 24 h, varvid välvning förhindras.
 Efter denna konditionering, som ursprungligen avsåg att efterlikna praktikens, brytes emballaget, och remsorna upphänges på mätanordning i 65 % r.f. (som b ovan). Deras välvning kan efter några minuter uppmätas till B_5 B_8 mm.
 24 h senare göres en förnyad avläsning, som ger värdena C_5 C_8 .
- e/ Mätning enl. pkt c, som kan användas för alla sorters skivor, även ytbelagda, ger upplysningar om formstabiliteten vid varierande luftfuktighet. Detta

har intresse i nästan alla sammanhang.

Mätning enl. d brukas endast för tunn board men har visat sig ge intressanta indikationer även bortsett från boardens beteende vid ev. enkelsidig fuktning med vatten. Detta skall närmare visas nedan.

Figur 56 visar vad som händer med några sorters 1/8" board under dygnet



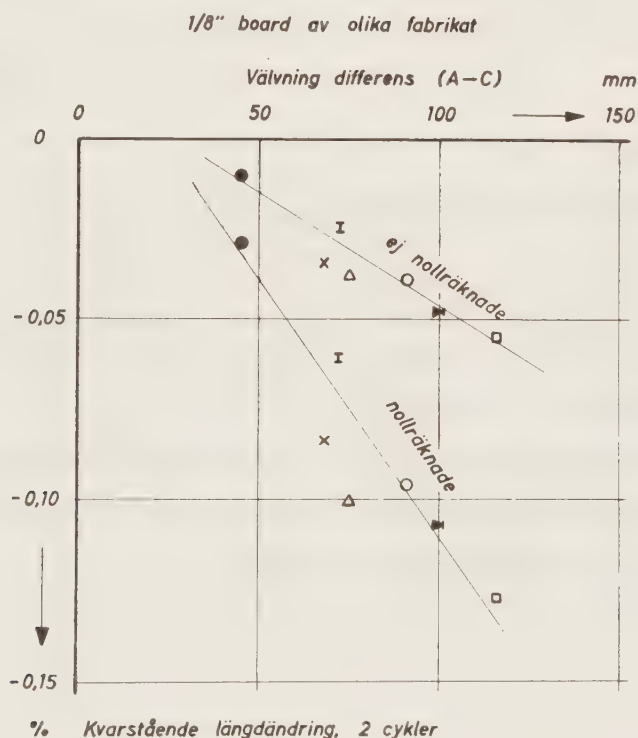
Figur 56

efter blötning av virasidan enl. d ovan. Under konditioneringen i plastpåse förhindras temporärt all välvning, men sedan remsorna hängts på mätstativet utlöses snabbt oplanhet i olika grad allt efter boardens karaktär. I samma ögonblick börjar emellertid uttorkning och fuktutjämning i 65 % r.f., varför remsorna successivt krymper på virasidan och formförändras mot positiv välvning (konvex slätsida). Efter ett dygn har rörelsen nästan upphört och välvningen förblir sedan praktiskt taget oförändrad under många veckor framåt. Naturligtvis fortgår en långsam fuktanpassning länge, vilket skulle öka rörelsen, men den tycks i allmänhet uppvägas av andra faktorer. Tidpunkten för avläsning av slutvärden ($C_5 - C_8$) kan därför väljas fritt efter ett dygns hängning.

Provet är enkelt att utföra och ger snabbt besked om boardens oplanhet vid normalklimat samt känslighet för vattenbegjutning, antingen denna avsiktlig utföres för fuktkonditionering eller oavsiktlig drabbar boarden t.ex. i form av regn.

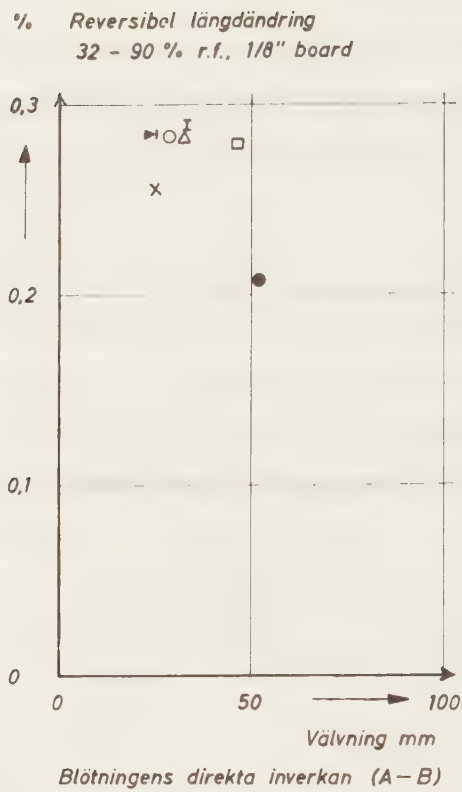
Om man nu jämför skillnaden mellan uppmätta A- och C-värden, 'differensen' vid välvningsmätning, med den kvarstående längdändring som uppstår vid samma boardsorters exponering för fuktcykler 32- 90 % r.f. 3 + 3 dygn, erhålles ett gott samband, vilket figur 57 a visar. Varje inprickat mätvärde representerar ett fabrikat och utgör medeltal för 18 olika mättillfällen, vilka sinsemellan naturligtvis varierar med boardens kvalitetsförändringar under de tre år mätningarna avser. De enskilda värdenas spridningsbild liknar de olika fabrikatens avvikelser från perfekt samband.

Figur 57 a



Däremot framgår av figur 57b att sambandet är väsentligt sämre mellan å ena sidan blötningens direkta effekt på välvningen (A - B), och å den andra motsvarande boardkvalitéers reversibla rörelser vid fuktcykler 32 - 90 % r.f. Diagrammets mätvärden avser medeltal av samma 18 mättillfällen som i figur 57 a redovisade.

Figur 57 b



Iakttagelserna kan sammanfattas i två satser :

Metoden att mäta välvning före och efter blötning av virasidan hos tunn board möjliggör snabb bedömning av dess tendenser till kvarstående dimensions- och formförändringar vid fuktcykler.

Den direkta fuktrörelsen i samband med blötning har däremot icke något samband med boardens reversibla, hygroskopiska rörelser, vilket bekräftar tidigare resonemang i samband med figur 43.

5. HÅLLFASTHET OCH DEFORMATION UNDER LAST.

Vid transport av board och liknande skivmaterial stukas hörn och kanter ganska lätt, vilket beror på delaminering i den fibrösa, skiktade strukturen. Rena böjbrott inträffar någon gång, när arken vändes häftigt för blötning eller limpåläggning. Förhöjd hållfasthet skulle minska dessa skador, men större seghet, brottöjning, vore ofta ett bättre skydd.

På väggar monterade skivor skall ha ytor hårda nog att tåla stötar, men E-modulen i planet bör ändå vara måttlig om krympkrafter ej skall spräcka fogar vid torkning.

I snickerier uppstår skiktskjuvning vid limmade fogar mellan board och ramverk. Ytbeläggning av fanér och laminat bidrager till spjälkande krafter vid fuktväxling. Dörrars ytskikt skall enligt svensk standard ha seghet nog att motstå slag från en viss pendelhängd kula.

För balkar och andra krafttagande element blir drag- och tryckhållfasthet av intresse, likaså elasticitets- och skjuvmoduler. De bestämmer deformationer under last men även påkänningar från bromsade fuktrörelser.

De mekaniska påfrestningarna är onekligen av många slag, särskilt om man beaktar effekten av variationer i klimat och belastningstid, två faktorer som har mycket stor inverkan på styrka och styvhet hos board och andra träprodukter.

Endast för böjhållfasthet vid 65 % r.f. finnes provningsstandard, nämligen SIS 23 51 06 baserad på ISO-förslag. Under årens lopp har emellertid en mängd metoder för mekanisk provning av skivmaterial framkommit i olika länder, och många har accepterats som nationell standard. Sammanställningar av normer har utförts av bl.a. FAO/ECE som förberedelse till internationellt standardiseringsarbete / 23 24 /. Utrymmet tillåter icke en komplett redogörelse för denna utveckling utan syftet är i första hand att anvisa sådana moderna provningsmetoder och tekniska data som kan ge underlag för ingeniörmässiga beräkningar av konstruktioner baserade på board och spånskivor.

Här följer nu ett avsnitt om korttidsbelastning vid olika fuktighet. I samband därmed diskuteras normer, apparatur och felkällor. En undersökning av belastningstidens inverkan leder sedan över till mer ingående studier av deformationer under last samt brottöjning och återfjädring. Kapitlet avslutas med en tillbakablick på klimatväxlingar i kombination med långtidsbelastningar, vilket utmynnar i förslag till metod för dimensionering av bärande konstruktioner.

KORTTIDSHÅLLFASTHET

Böjprovning

Man kan anföra en hel rad allvarliga argument mot gängse metoder att mäta böjhållfastheten hos skivor, särskilt board, samt det värde man kommersiellt tillmäter resultaten. Dessa förhållanden samt förekomsten av en provningsstandard får motivera, att böjhållfastheten granskas före andra och mer renodlade former av hållfasthet, som dessutom har större praktisk betydelse.

Enligt SIS 23 51 06 bestämmes böjhållfastheten på 75 mm breda provkroppar, vilka upplägges som balkar på stöd av rullar och avböjes med en i mittpunkten applicerad linjelast, vars maximala storlek mätes. Den fria spännvidden mellan rullarna skall vara ca 25 gånger provets nominella tjocklek. Resultaten rapporteras dels som brottlast i kp/cm provkroppsbredd, dels böjhållfasthet i kp/cm^2 uträknad enligt gängse metoder för fritt upplagda balkar. Apparaturen skall ge en nedböjningshastighet av 30 mm/min.

Anbefalld noggrannhet vid rapportering av böjhållfasthet, 5 kp/cm^2 för hårda och 1 kp/cm^2 för porösa skivor, står i rimlig proportion till föreskriven precision vid mätning av provkropparnas dimensioner, spännvidd och maximilast, i varje fall om man accepterar illusionen att mäta tjockleken rätt på 0,01 mm hos hård board trots dess varierande viramönster. För redovisningen av brottlast finnes även formella brister eftersom den för resultatet väsentliga spännvidden endast anges till cirka 25 gånger nominell tjocklek hos provkroppen och icke behöver rapporteras. Man kan fråga sig vilka spännvidder som är tillåtna för så vanliga boardtjocklekar som 3/32" och 3/8", vilka icke finnes upptagna i den tabell över

spännvidder "som kan väljas" enligt standarden.

I detta sammanhang kan man överväga om det verkligen finns skäl att redovisa både brottlast och böjhållfasthet. Särskilt i England tillmättes brottlasten störst betydelse eftersom den ger ett direkt mått på skivans böjstyrka. I Sverige bedömes nästan uteslutande den specifika böjhållfastheten, som onekligen ger ett bättre mått på skivans inre kvalitet. Tjockleken brukar redovisas separat, och då kan även den totala böjstyrkan uppskattas utan räknearbete, anser man.

Båda dessa resonemang må vara acceptabla, men vore det icke bra mycket bättre att i st.f. brottlast ange brottmomentet? Den nuvarande ordningen med olika spännvidder för skilda tjocklekar ger brottlaster som icke tillåter jämförelse av böjstyrkan hos olika tjocka skivor. Hård 1/8" har en brottlast av ca 4 kp/cm, medan porös 1/2" endast har 1 kp/cm p.gr. av fyra gånger så stor spännvidd vid provning. Trots skillnaden i brottlast har de två sorterna alltså samma faktiska böjstyrka, d.v.s. brottmoment $M = \frac{PL}{4b}$ kpcm/cm bredd.

Genom att ersätta redovisningen av brottlast med brottmoment skulle man också komma ifrån problemet med exakt föreskrift om spännvidden för olika boardsorter. Även i bästa fall kan en dylik anvisning icke komma ifrån den felkälla som ligger i skillnaden mellan nominell och faktisk tjocklek. Väljes däremot att redovisa brottmomentet, kan man nöja sig med ett fåtal, lätt inställbara spännvidder eftersom dessa stöдавstånd L ingår som faktor vid uträkning av momentet.

Några sifferuppgifter får belysa resonemanget och samtidigt ge en uppfattning om styrkan hos hård och porös board samt byggboard. Tabellen exemplifierar de årsmedelvärden som erhålles när olika fabrikat och kvaliteter anskaffas och provas upprepade gånger under ett år.

Sort	Kvalitet	Brottlast kp/cm bredd	Brottmoment kpcm/cm bredd	Böjhållfasthet kp/cm ²
Hård 1/8"	Stark	4	8	450
	Svag	3	6	320
Porös 1/2"	Stark	1,4	10	36
	Svag	0,7	5	18
Byggboard	Stark	7	50	170
	Svag	3,5	25	85

Kolumnen 'Brottmoment' ger annan och riktigare bild av skivornas böjstyrka än brottlasten.

De kritiska synpunkter som ovan framförts siktar på provningsnormen, men dessvärre finnes ännu starkare skäl att ifrågasätta böjprovningen som sådan. Den inrymmer en hel del felkällor, som påvisats vid laboratoriet redan 1958 och finnas sammanfattade i en kort uppsats / 25 /. Där framhålles bl.a. följande brister :

Stor nedböjning vid brott medför inåtriktade, momentökande upplagsreaktioner från föreskrivna stöd av lätt rörliga rullar. Tillskottsmomentet beaktas icke och innebär dessutom en nedvärdering särskilt av kvalitéter med god seghet, som egentligen är en fördelaktig egenskap.

Hållfastheten hos board är starkt tidsberoende. Vid konstant deformationshastighet blir belastningstiden till brott längre för seg board, vilket ytterligare förminskar dennas brottlast och skenbara böjhållfasthet.

Uträkningen av den specifika brottpåkänningen är baserad på Naviers ekv., vars villkor icke alls är uppfyllda. E-modulerna för tryck- och dragning är ej lika. Elasticitetskurvorna är starkt krökta, varför spänningsfördelningen ej är

triangulär. Krypning under last sker snabbt, vilket ytterligare omlagrar påkänningarna i snittet.

Vid laboratoriet gjordes 1958 ett försök att uppskatta de påtalade felkällornas storlek vid provning av 1/8" board. De snedriktade upplagsreaktionerna bedömdes t.ex. reducera brottlasten med 5 - 10 %. Avvikelserna från triangulär spänningsfördelning i snittet kalkylerades ge 15 - 25 % för hög brottpåkänning. Även skillnaden i drag- och tryckdeformation gav påtaglig missvisning men i olika riktningar beroende på provets egenskaper samt böjningsriktningen.

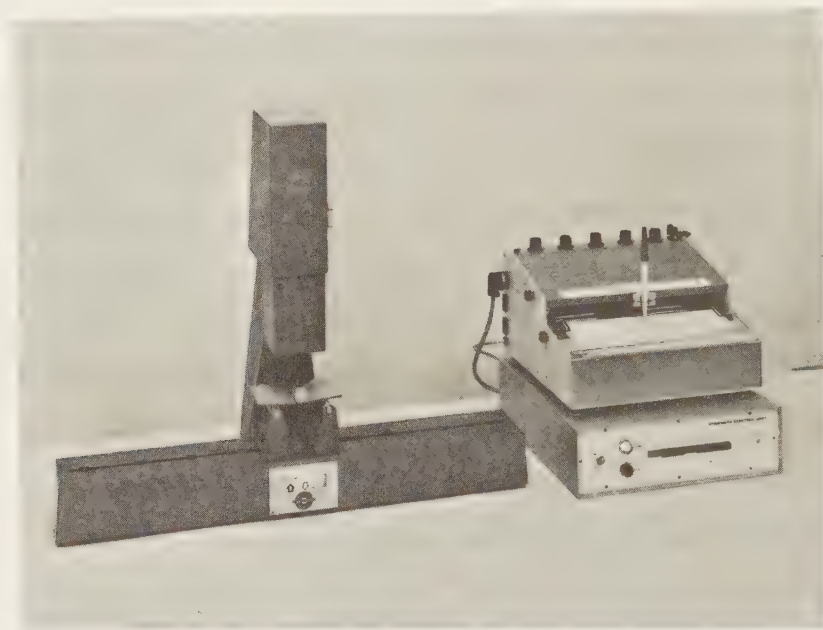
Sammanfattningsvis kan man konstatera, att den s.k. böjhållfastheten provad och framräknad enligt gällande norm brukar ligga 40 - 70 % högre än den renodlade drag- och tryckhållfastheten hos samma material. Att skillnaden blir så stor beror delvis på att pressad board har större täthet och styrka i ytskikten, vilket ökar hållfastheten mer vid böjning än vid tryck och dragning.

Alla dessa effekter har diskuterats grundligt under mångårigt standardiseringsarbete, men nackdelarna med böjprovning har ansetts uppvägda av provets enkelhet och traditioner inom branschen. Som ett kuriosum kan nämnas, att man i försöken att reducera felen t.o.m. spekulerat över vilken diameter stödrullarna borde ha för att den vid provkroppens deformation minskade fria spännvidden skulle kompensera inverkan av sneda upplagsreaktioner !

Böjprovning av board går mycket snabbt, vilket är en stor fördel, **men** provet är icke enkelt i betydelsen lätt att arrangera. Snarare är det svårt att bygga apparater som utför mätningen korrekt, och de blir mycket dyrbara. Jämförelser mellan modeller av skilda, välkända fabrikat och även exemplar av samma typ visar ofta stora differenser, vilket bl.a. tyder på behov av regelbunden service och uppmärksam kalibrering.

Normen föreskriver icke, att apparatens kraftmätning måste ske tröghetsfritt. Ett sådant krav förefaller också onödigt p.gr. av den relativt långsamma lastökningen i närheten av brott, och detta resonemang har bekräftats vid jämförelser mellan olika apparattyper. Däremot bör kraftmätningen vara ordnad så att den utan missvisning tål excentricitet. Snedbelastning kan nämligen uppkomma

p.gr. av lokala kvalitets- eller tjockleksvariationer över provkroppens bredd. Även f.övr. högklassiga apparater med tröghetsfri elektronisk kraftmätning kan ha svagheter i detta avseende.



Figur 59

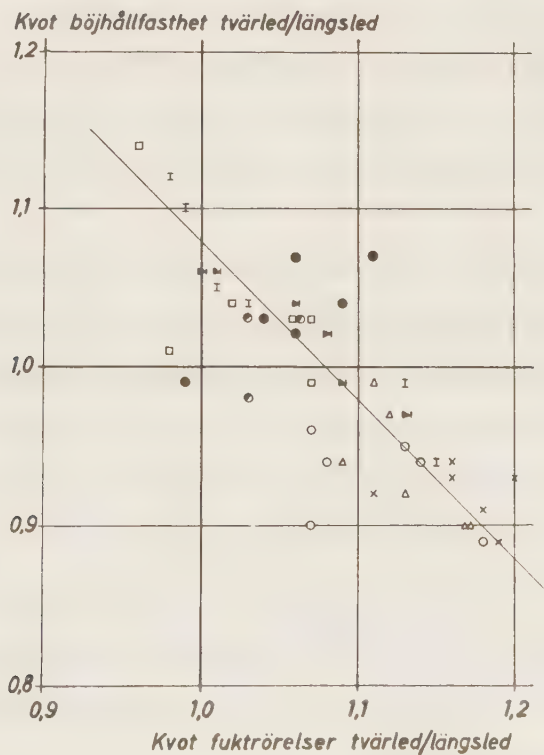
AB Defibrators nya böjhållfasthetsprovare typ C för normenlig provning av board. Kraftmätning sker elektroniskt inom omställbara områden upp till 200 kp. Apparaten är försedd med automatisk returrörelse inom reglerbart intervall.

De exempel på brottlast, brottmoment och böjhållfasthet som lämnats i en tabell ovan utgör medelvärden för normenliga mätningar längs- och tvärs maskinriktningen samt böjning åt olika håll.

När slätsidan böjes konkav, uppnås i allmänhet högre hållfasthet än när den böjes konvex. Skillnaden är ca 10 % i genomsnitt för moderna kvalitéer av 1/8" hård board men kan vara 20 % för skivor med särskilt täta och starka ytskikt på slätsidan. Saknas sådan osymmetri, blir hållfastheten densamma i båda riktningarna trots baksidans viramönster.

Däremot tycks mönstret ha en annan inverkan värd att notera. Om man prövar ett stort antal boardsorter och jämför hållfastheten längs och tvärs maskinriktningen, finner man ingen genomgående skillnad, även om vissa sorter eller enstaka prover kan uppvisa en anisotropi av ca 10 %. Bestämmas de reversibla fuktrörelserna för samma sorter, framkommer emellertid en tydlig, genomsnittlig skillnad mellan längs- och tvärgående prover, se figur 58. De sistnämnda har i medeltal ca 8 % större rörelser, vilket torde bero på en dominerande fiberorientering i längsled. En sådan borde dock avspeglas i motsvarande högre hållfasthet i denna riktning, vilket bøjproverna alltså icke bekräftat. Här kommer tanken på viramönstret in. Det kan tänkas ge brottanvisningar, möjligen i olika grad längs och tvärs.

Figur 58



För att pröva denna hypotes provades först böjhållfastheten även i 45° -riktningarna. För en boardsort med ovanligt finmaskigt viramönster erhöles därvid 6 % högre värden än medeltalet för längs- och tvärriktningarna. Sorter med grovt mönster gav däremot i 45° -riktningar just detta medeltal, alltså inget utslag, men detta kunde bero på att det grova, sammanhängande nätmönstret utgjorde effektiv brottanvisning i alla riktningar.

Mönstringens effekt når ganska djupt, varför man ej löser frågan genom slätputsning av ytan och därefter provning. Eventuellt skulle man kunna utgå från bitar av ett större våtark och i laboratorieskala pressa flera provskivor med viradukarna lagda i olika riktningar, men av erfarenhet vet man, att andra faktorer lätt kommer in vid sådan hantverksmässig tillverkning av provark.

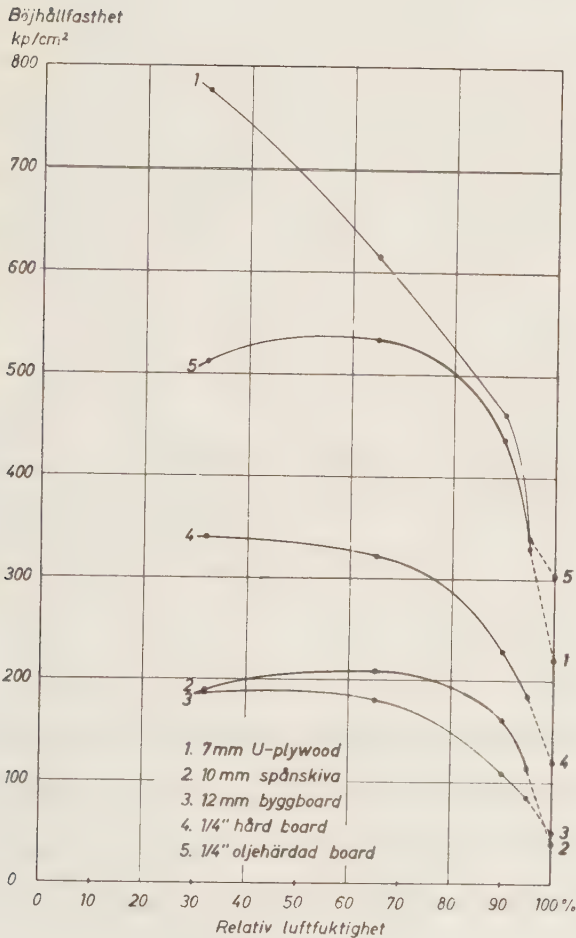
Som ett tredje och säkrare alternativ valdes att sammanlimma provkroppar två och två med virasidorna lagda mot varandra, så att dessa ytor hamnade i neutrallagret vid böjning och därmed erhöles ringa inflytande vid jämförande provning i längs- och tvärriktning. Denna provningsmetod gav också resultat. Kvoten mellan böjhållfasthet i tvärled och längsled sjönk ca 6 % i jämförelse med resultat från enkla provkroppar. Därmed erhöles nästan fullständig samklang mellan mekanisk och hygroskopisk anisotropi. Båda bekräftar, att en övervägande fiberorientering i allmänhet föreligger i arkens längsriktning (maskinriktning). Sannolikt får man fram detta även vid mätning av E-modulen i de två huvudriktningarna, men sådan kontroll har ej utförts.

Det kan nu vara tid att se närmare på böjhållfastheten hos de fem 'typskivor' som studerats speciellt ingående i tidigare sammanhang. Den traditionella böjprovningen har för dessa kvaliteter utvidgats väsentligt. Provning har genomförts icke endast vid 65 % r.f. utan även 32 90 och 95 %, dessutom efter vattendoppning i 24 h och 12 dygn samt med provkroppar torkade 7 dygn i normalklimat (65 % r.f. 20°C) efter doppning 24 h.

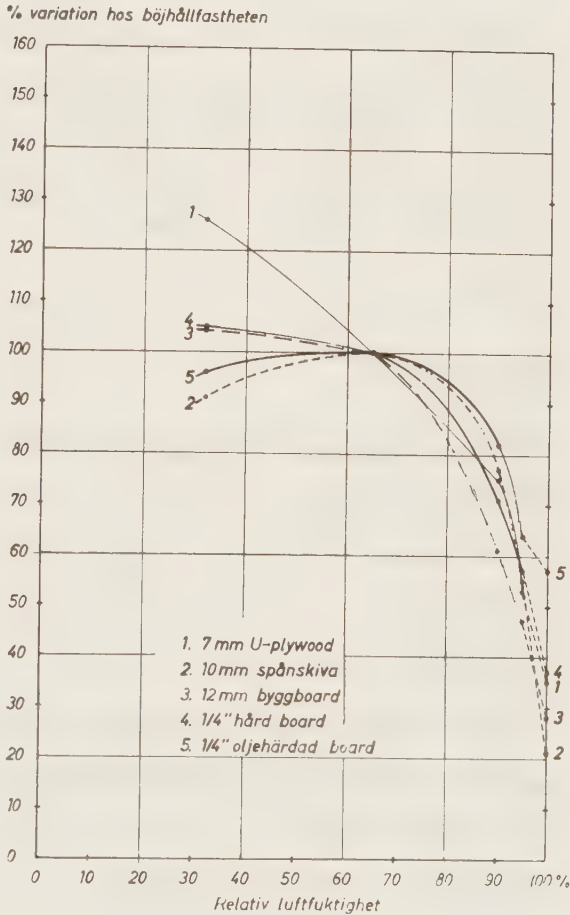
Avsikten med provning vid olika fuktighet har givetvis varit att i ett senare avsnitt bedöma och sammanfatta materialens möjligheter i lokaler med skilda klimat. I samma syfte har även andra hållfasthetsegenskaper testats vid varierande fuktförhållanden.

För att begränsa provningarnas omfattning har remsor uttagits endast i en riktning - längs ytfanërens fiberriktning för plywood och tvärs maskinriktningen för övriga sorter -, men för att ändå få en uppfattning om ev. anisotropi har båda riktningarna medtagits i 65 % r.f. för flertalet skivor.

Resultaten redovisas dels i följande tabell, dels grafiskt i figur 60 a. Böjhållfasthetens procentuella storlek vid fuktigheter avvikande från normalklimatets framgår av figur 60 b. I båda diagrammen har värden erhållna efter 12 dygns doppning förts in vid 100 % r.f., vilket ej är formellt korrekt och därför påpekas.



Figur 60 a



Figur 60 b

Böjhållfasthet i kp/cm^2 samt spridning $\pm s$ vid olika luftfuktighet samt efter vattendoppning. Plywood-provkroppar uttagna längs ytfanërens fiberriktning, prover av övriga material tagna tvärs maskinriktningen. Slätsidan har böjts konkav och konvex.

Sort	Relativ luftfuktighet %				Vattendoppning timmar, 20 °C		
	32	65	90	95	288	24	24 med torkning
U-plywood 7 mm	776 $\pm$ 110	615 $\pm$ 76	462 $\pm$ 26	329 $\pm$ 29	218 $\pm$ 15		
Spånskiva 10 mm							
Konkav	199 $\pm$ 14	207 $\pm$ 16	158 $\pm$ 9	112 $\pm$ 23	44 $\pm$ 5	149 $\pm$ 17	162 $\pm$ 10
Konvex	178 $\pm$ 27	209 $\pm$ 6	163 $\pm$ 19	115 $\pm$ 11	43 $\pm$ 5	155 $\pm$ 9	183 $\pm$ 19
Mv tvärs	189	208	161	114	43	153	173
Mv längs		225					
Byggboard 12 mm							
Konkav	177 $\pm$ 16	178 $\pm$ 12	96 $\pm$ 8	87 $\pm$ 3	49 $\pm$ 7	60 $\pm$ 4	107 $\pm$ 16
Konvex	197 $\pm$ 8	182 $\pm$ 22	104 $\pm$ 6	87 $\pm$ 9	54 $\pm$ 8	67 $\pm$ 7	119 $\pm$ 12
Mv tvärs	187	180	100	87	51	64	113
Mv längs		164					
Hård board 1/4"							
Konkav	350 $\pm$ 13	343 $\pm$ 23	243 $\pm$ 13	193 $\pm$ 15	123 $\pm$ 8	180 $\pm$ 14	277 $\pm$ 21
Konvex	317 $\pm$ 22	297 $\pm$ 30	213 $\pm$ 10	175 $\pm$ 8	113 $\pm$ 6	166 $\pm$ 7	247 $\pm$ 27
Mv tvärs	334	320	228	184	118	174	263
Mv längs		284					
Oljeh. board 1/4"							
Konkav	529 $\pm$ 39	547 $\pm$ 21	434 $\pm$ 17	345 $\pm$ 14	296 $\pm$ 9	431 $\pm$ 13	481 $\pm$ 15
Konvex	495 $\pm$ 24	521 $\pm$ 12	438 $\pm$ 16	336 $\pm$ 14	313 $\pm$ 17	476 $\pm$ 14	472 $\pm$ 11
Mv tvärs	512	534	437	340	304	454	477
Mv längs		506					

Tabellen ger inga sensationella besked om anisotropi eller osymmetri. Ej heller är framräknade värden för spridning överraskande, må vara att standardavvikelsen ibland förefaller onormal beroende på att endast 8 provkroppar tagna ur två skivor per sort testats för varje fuktighet. En bedömning av spridningen i stort göres i ett senare kapitel.

Däremot finnes anledning att genast diskutera fuktens stora inverkan på hållfastheten, och därvidlag ger diagrammen överskådligt underlag.

Mest iögonfallande är kurvornas branta fall över 80 % r.f., sedan hållfastheten hållit sig tämligen oförändrad inom hela fuktintervallet 30 - 80 %, vilket täcker de allra flesta normalt förekommande klimatförhållanden.

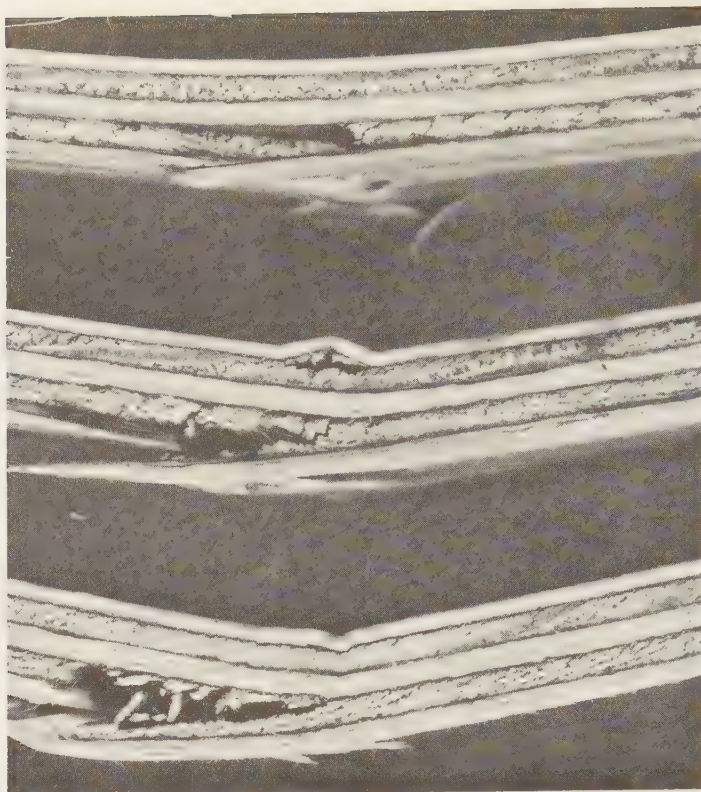
Hållfastheten hos spånskiva och oljehärdad board är helt respektive delvis baserad på limning av partiklarna, vilken tydligen fungerar sämre vid torrt än vid normalt klimat. Antagligen beror detta på att torrare och sprödare träpartiklar ej tillåter samma grad av lokal spänningsutjämning utan snarare ökar limpåkänningarna p.gr. av krympkrafter.

Spånskivans lim är ej vattenfast (karbamid) i motsats till den oljehärdade boardens impregnering av fenolharts och polymeriserande oljor.

Det mest förvånande är kanske den våldsamt minskade hållfastheten hos plywood vid fuktigheter över 90 %. Man hade väntat, att just U-plywood skulle tåla fukt bäst av dessa fem material, men i verkligheten har hållfastheten fallit till 53 % vid 95 % r.f. och till 35 % efter doppning. Förklaringen härtill är emellertid enkel och demonstreras bäst av figur 61, som visar böjbrottets art hos torr och fuktig 7 mm U-plywood. I den torra uppstår dragbrott, medan den fuktiga alltid erhåller en primär stukning av det tryckta ytfanéret. Det knäcks lokalt p.gr. av försämrade förankring i innanförliggande fanér, vars tvärhållfasthet försvagats av fukten. Hållfasthetsreduktionen är sålunda icke något direkt mått på försvagning i träets fiberriktning men i viss mån i dess tvärriktning. Denna för plywood ogynnsamma effekt varierar med tjockleken hos skivan och hos de enskilda faneren men måste observeras eftersom hållfastheten hos plywood vanligen bedömes vara gynnsam i jämförelse med massivt virke av motsvarande fuktighet.

Figur 61

Böjbrott hos 7 mm
U-plywood
vid 65 % r.f. (överst)
och 90 % r.f. (i mit-
ten och nederst).

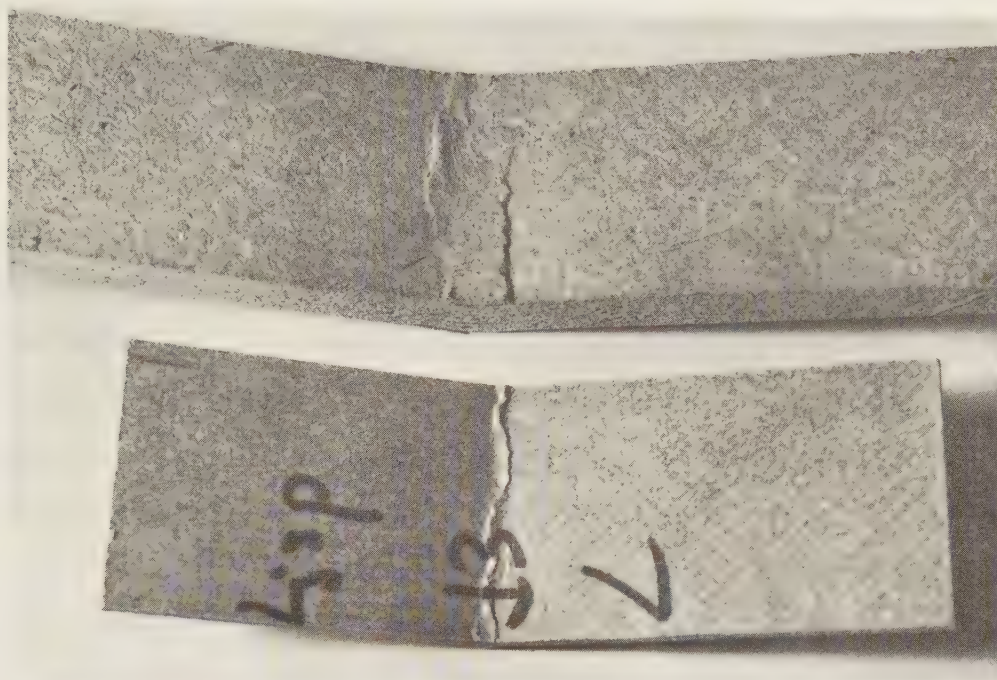


Även hos övriga skivmaterial kan brottbilden variera med fuktigheten. Spånskivor uppvisar dock enbart dragbrott eftersom deras tryckhållfasthet ligger högre än draghållfastheten ännu vid 90 % r.f., vilket närmare redovisas i tabeller senare. Samtliga provade boardsorter har däremot redan vid 65 % r.f. lägre tryck- än draghållfasthet, och skillnaden ökar vid 90 % r.f., särskilt för kvaliteter med lägre volymvikt såsom byggboard. Emellertid uppkommer synliga tryckbrott vid böjning endast i sådana fall, där tryckhållfastheten är markant lägre än draghållfastheten. Gränsvärdet tycks ligga omkring 75 %.

Figur 62 visar dels ett typiskt tryckbrott vid böjning av 12 mm byggboard, dels liknande stukning hos 1/8" hård board. Väl värmehärdad hård board ger dock vanligen dragbrott, som utlöses momentant och hörbart, särskilt om det inträffar i slätsidans täta ytskikt. Många konsumenter betraktar en sådan 'knäpp' som tecken på god kvalitet, och onekligen ligger en viss sanning bakom denna värdering. Andra åter tycker att dylik board verkar spröd. Svagare härdning däremot ger ljudlöst tryckbrott, som ej avslöjar när brottlaster överskrides och icke medför att provkroppen faller i bitar. Den verkar 'seg' och tålig. En liten stukning kan i de flesta fall bockas tillbaka, och skivan blir ej spolierad.

Även ett sådant resonemang kan vara berättigat trots att begreppet seghet därvid ej användes helt korrekt.

Figur 62



SIS 23 51 06 föreskriver, att nedböjningen vid brott skall avläsas vid böjprovning. Någon motivering eller närmare anvisning lämnas icke, men nedböjningen skall rapporteras på 0,5 mm. Tanken har väl varit den, att uppgiften ifråga skulle ge en liten anvisning om boardens grad av seghet, d.v.s. förmåga att töjas utan att brista.

Emellertid är direkt nedböjning ett mycket primitivt mått på denna egenskap. Mätvärdet påverkas bl.a. av provkroppens faktiska tjocklek. En riktig bedömning fordrar uppgift om brotttöjning i ytskikten eller åtminstone provkroppens krökningsradie vid brott. Hur dessa storheter uträknas har, såvitt bekant, aldrig diskuterats. Ej heller har anvisats någon metod att vid böjprovning mäta den minimala krökningsradien i brottögonblicket. I början av detta kapitel har dock poängterats seghetens praktiska betydelse. Den har ökat efter tillkomsten av de speciellt yttätade men tyvärr relativt spröda kvalitéter, som utvecklats med sikte på minimal färgsugning vid industriell lackering av board.

Önskan att kunna mäta seghet korrekt i förening med kritisk inställning gentemot traditionell böjprovning resulterade i utveckling av ett nytt provningsförfarande vid laboratoriet år 1961. Metoden har sedan dess använts rutinmässigt utan ändringar. Den presenterades genast för boardindustrien men har ej offentliggjorts delvis p.gr. av att liknande metoder senare framkommit och publicerats på andra håll / 26 27 /.

Vid vanlig böjprovning erhålles icke renodlade böjspänningar i provkroppen. Den utsättes också för skjuvning samt en viss tryckspänning från de sneda uppslagsreaktionerna. Inverkan av dessa ovidkommande påkänningar är svårbestämbar och kan synas liten, men den växer med nedböjningen, som vid boardprovning blir relativt mycket större än vid böjprovning av de flesta andra material. Dessutom har träfiberskivor låg hållfasthet mot skiktsskjuvning, varför böjningen i enstaka fall faktiskt resulterar i skjuvbrott.

Till skillnad mot sådan 'balkprovning', som den traditionella metoden kunde kallas, ger den nya enbart böjpåkänningar. Belastningen insättes som två motriktade moment vid provkroppens båda ändar, vilket medför konstant moment över dess längd (15 cm har använts) och därför också konstant krökningsradie, d.v.s. böjning till formen av en cirkelbåge.

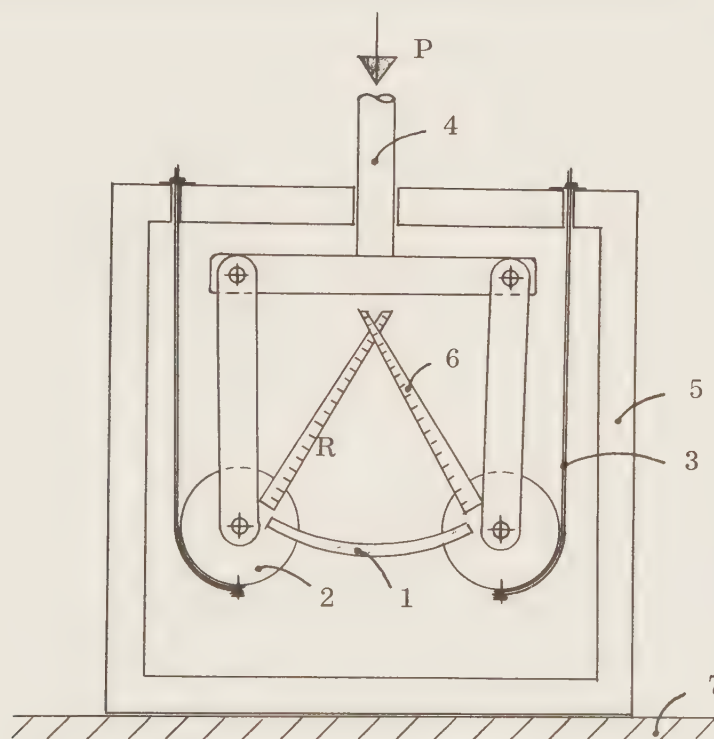
På de momentgivande spännbackarna eller direkt på provkroppen anbringas ett par lätta, mm-graderade linjaler vinkelrätt mot provkroppens plan. Vid böjning kommer linjalerna att korsas i cirkelcentrum, så att krökningsradien R hela tiden kan avläsas. Om provkroppens tjocklek är t och deformationen i ytskikten $\pm \epsilon$ erhålles $\epsilon = \frac{t}{2R}$. Detta förutsätter, att sektionen är symmetriskt uppbyggd samt E -modulerna för tryck och dragning lika. Ligger neutrallagret ej i mitten, blir ϵ i de två ytskikten olika. I så fall kan man tillgripa metoden att sammanlimma spegelvända provkroppar parvis på samma sätt som vid tidigare beskrivna kontroll av viramönstrets inverkan på böjhållfastheten i skilda riktningar. Vid momentmaximum avläses R , varefter ϵ kalkyleras.

Eftersom metoden möjliggör direkt avläsning av krökningsradien vid varje pålagt moment, erhålles också fortlöpande uppgift om E -modulen, som blir
$$E = \frac{12 M R}{b t^3},$$
 där b är provkroppens bredd.

Boardens böjhållfasthet erhålles på vanligt sätt som maximimomentet dividerat med provkroppens motståndsmoment W , alltså $\sigma_{b\ddot{o}j} = \frac{M_{\max}}{W}$. Detta värde brukar bli något lägre än vid vanlig böjprovning bl.a. beroende på att det konstanta momentet ger brott i den relativt långa provkroppens svagaste snitt, medan brottet annars hålles lokaliserat till böjdonets närhet.

Apparaturen för renodlad böjprovning kan utformas på en mängd olika sätt. Det enda principiellt väsentliga är att spännbackarnas inbördes avstånd motståndslöst anpassar sig till provkroppens längd så att normalkrafter undvikas. Den enkla anordning som använts vid laboratoriet visas schematiskt i figur 63. Apparaten utgör en komplett, flyttbar enhet, som kan ställas in i de flesta tryck- och böjprovningssmaskiner.

Figur 63



1. Provkropp
2. Spännback
3. Hängsle
4. Plunge för belastning P
5. Stativ
6. Skala för krökningsradie R
7. Fast underlag eller vågbord

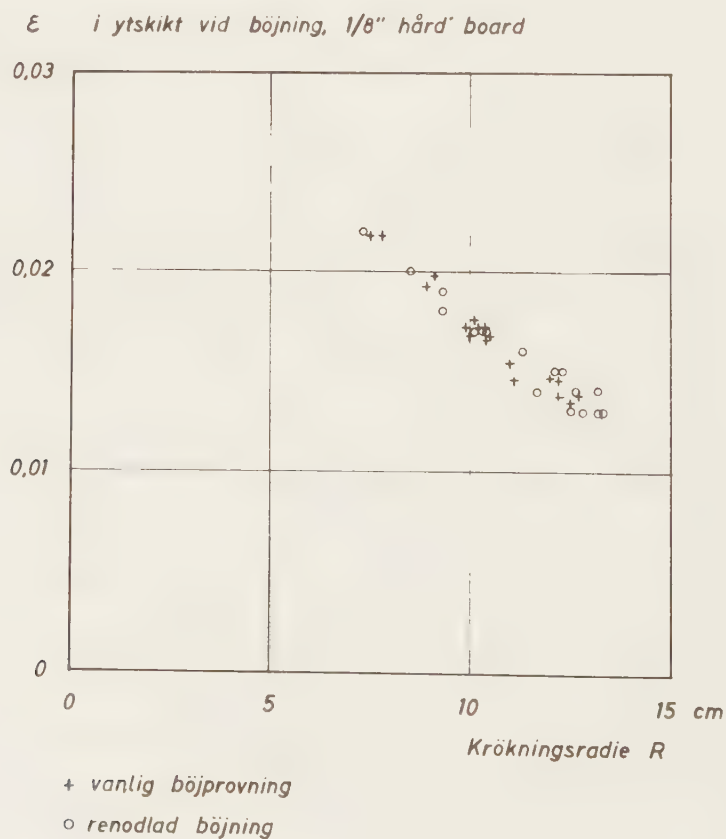
Om man emellertid saknar apparat för ren böjning, kan man räkna fram ungefärliga värden för brottböjning och motsvarande krökningsradie ur resultaten från 'balkprovning'.

Formlerna för påkänning, $\sigma = \frac{3 P L}{2 b t^2}$ och nedböjning, $f = \frac{P L^3}{48 E I}$, divideras och ger ett uttryck för $\frac{\sigma}{E}$, d.v.s. ϵ . Man erhåller $\epsilon = \frac{6 t f}{L^2}$ samt, efter insättning av $\epsilon = \frac{t}{2 R}$, formeln $R = \frac{L^2}{12 f}$.

Det visar sig, att erhållna värden överensstämmer bra med motsvarande från ren böjprovning. Som exempel visas i figur 64 resultaten av två sinsemellan lika serier provkroppar av olika kvalitéer 1/8" board provade vid normal-klimat enligt de två metoderna.

Böjligheten är ofta störst, när slätsidan böjes konkv. Om brottböjningen är mindre än ca 0,013 i någondera riktningen, brukar boarden anses spröd.

Figur 64



En annan metod för bestämning av seghet eller böjlighet speciellt hos golvmaterial har utvecklats av Ch. Bring. Principen är den, att en remsa av materialet bockas till anliggning mot en enkelkrökt, spiralformad yta med avtagande krökningsradie, vars storlek avläses i den punkt, där provremsan till sist brister. Provkroppen pressas till anliggning mot spiralen medelst en eller flera motordrivna rullar, som ger förloppet en förutbestämd hastighet.

Metoden är elegant, apparaten relativt enkel, lättskött och snabb. Den har provats även för board men befunnits mindre lämpad för just detta material. Man har nämligen ibland svårt att se var brott börjat uppkomma, särskilt ev. tryckbrott i den skymda anliggningsytan mot spiralen.

Med seghet menas vanligen ett materials förmåga att tåla deformation utan att brista. Board är därvidlag ej fullt jämförbar med metaller och plaster eftersom brott ej uppstår i de enskilda fibrerna utan som en kollaps av själva strukturen. Denna kan mosas sönder praktiskt taget obegränsat vid tryckbelastning, men i ett sådant tillstånd kan man ej längre beteckna materialet som board. Den enda praktiskt förnuftiga möjligheten att definiera och mäta boardens seghet vid böjning blir därför att förknippa brottdeformationen med momentmaximum.

Dragprovning.

Svensk standard för bestämning av draghållfasthet saknas. ISO:s kommitté har ännu ej påbörjat några diskussioner om denna egenskap. FAO anvisar provkroppar av 25 cm längd och med bredden 5 cm successivt minskad till 3,8 cm på en mittre, 5 cm lång mätsträcka avsedd att lokalisera brotten och förhindra att de uppkommer i eller invid spännbackarna. Deformationshastigheten skall vara 4 mm per minut. Om brott inträffar närmare backarna än 12 mm, skall sådant prov borträknas vid rapportering.

Detta sista tillägg antyder, att brott ibland inträffar utanför den avsedda zonen och t.o.m. i snitt med nära 5 cm bredd. I så fall är den provade längden obestämd,

vilket är en allvarlig brist hos normen. Den iakttagna draghållfastheten är nämligen beroende av längden. Om man t.ex. delar en 1 m lång remsa i 10 delar och provar varje bit för sig, blir medelvärdet givetvis högre än det lägsta värdet, vilket däremot ensamt skulle framkommit om remsan i hela sin längd dragits till brott.

Om man utgår från att spridningen i draghållfasthet approximativt är normalfördelad, samt att utförda provningar givit besked om variationskoefficienten $V = s/\bar{x}$, kan man med hjälp av en tabell över fördelningsfunktionen lätt räkna ut hur provkroppens längd inverkar på den uppmätta hållfastheten. I det valda exemplet med tio bitar tagna ur ett större prov vill man t.ex. veta den sannolika styrkan hos den svagaste jämfört med medelvärdet $\bar{x}$ för alla tio bitarna. Om spridningen kan antagas vara $\pm 10\%$ av medelvärdet, d.v.s. $V = 0,10$, bör den svagaste biten hålla 87 % av medelvärdet. Om spridningen blott är $\pm 5\%$, kan man förvänta 92 %. Skulle spridningen vara så stor som 20 %, bör hållfastheten hos den svagaste biten och därmed också remsan provad som helhet bara bli 83 % av det värde man får vid provning av varje bit för sig och uträkning av medelvärdet.

Observera att dessa teoretiska proportioner måste justeras om den ursprungliga provkroppens längd till nämnvärd del åtgår för små-provernans infästning i spännbackar. Där kan svaga snitt hamna utan att bli avslöjade, varför den hel-långa remsan sannolikt ger lägre brottlast än något av del-proven.

Från detta resonemang kan man gå över till spekulationer om vilken provkroppslängd som är lämpligast att använda. Den av FAO föreslagna med endast 5 cm lång (egentlig) mätzon är olämpligt kort om man önskar utföra samtidig mätning av hållfasthet och töjning. För att få acceptabel noggrannhet med måttligt antal provkroppar vid bestämning av deformation och elasticitetsmodul bör man ha större mätlängder, gärna 25 - 100 cm, så att lokala kvalitetsvariationer inom skivan utjämnas. Eftersom noggrann töjningsmätning kan vara relativt arbetskrävande att arrangera och binder dyrbar apparatur vid långtidsprovning, är hård begränsning av antalet provkroppar ofta nödvändig.

Önskar man mäta enbart brotthållfastheten, kan det vara riktigare med korta provkroppar i större antal, vilket ger säkrare uppfattning om verklig medelhållfasthet

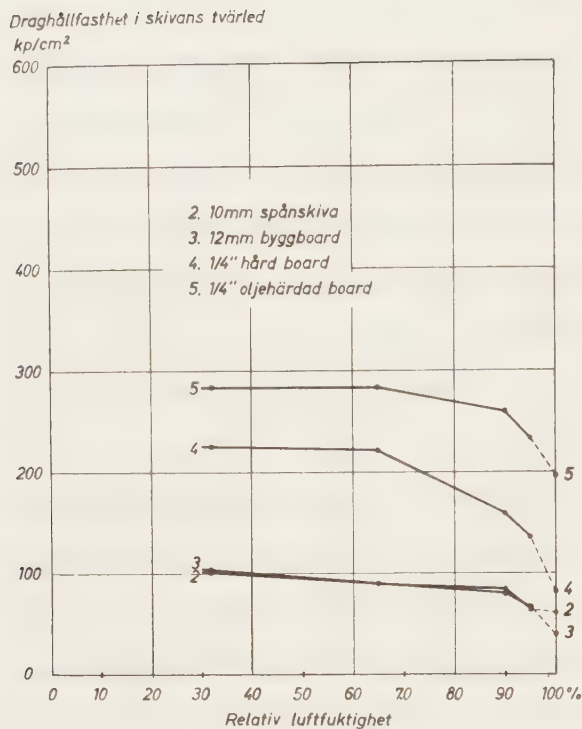
och spridning. När skivor utnyttjas konstruktivt i praktiken, rör det sig alltid om relativt stora ytor och ofta flera skikt, varför lokala svagheter ej blir avgörande. Inga iakttagelser tyder på att försvagningar skulle förekomma i hela stråk längs eller tvärs skivor av spån eller fiber. Däremot kan man tänka sig en dylik effekt av kvistrika fanér i plywood, vilket studerats närmare av B Norén / 28 /.

Nackdelen med korta dragprovkroppar är ökad risk för brott invid spännbackarna. Även om kropparna utformas med 'midja', faller en del brott utanför denna och måste borträknas. Dessutom ökar midjan effekten av den excentricitet som aldrig helt kan undvikas i infästningen. Detta problem löser man icke enbart med ledad upphängning av spännbackarna, vilket senare skall diskuteras under avsnittet 'Tvärdragprovning'.

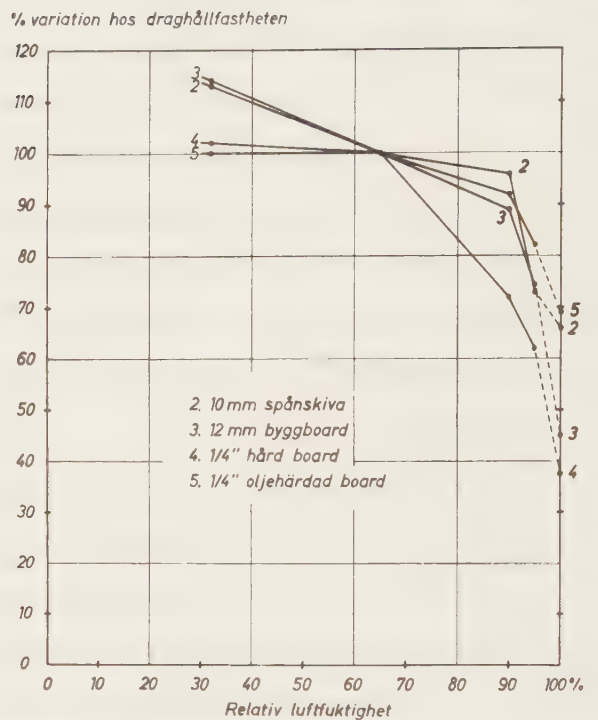
Eftersom tillverkning av provkroppar med 'midja' är arbetskrävande men ändå ger diskutabel fördel, använder laboratoriet vanligen bitar med rektangulär form 15 x 5 cm infästa så att fri längd blir 5 cm. Om brott inträffar närmare än 0,5 - 1 cm från back, slopas mätvärdet. I undantagsfall har använts provkroppar med midja eller pålimmade förankringsklotsar av hårt trä. Detta är nödvändigt vid provning av material som har hög draghållfasthet men sämre tål tryck i sidled från spännbackarna, t. ex. massivt virke och plywood. Vid provning av långtids-hållfasthet samt deformationer under last har alltid använts långa remsor, som tillåtit töjningsmätning på 50 eller 100 cm nettolängd.

För de fem 'typskivorna' har draghållfastheten bestämts vid samma fuktförhållanden som vid böjprovning, och även redovisningen sker likartat, d. v. s. med en tabell och två diagram, figurerna 65 a och b. För plywood lämnas dock endast ett par riktvärden i tabellen emedan underlaget bedömts vara alltför litet för en nyanserad redovisning.

Tabellens värden förefaller rimliga och förändras konsekvent med fukten. Spånskivan har dock ett relativt lågt och osäkert värde vid 65 % r. f. samt stor spridning även efter 24 h doppning med torkning. Det förefaller helt otroligt, att en sådan fuktning skulle öka hållfastheten, men den tycks ej heller ha haft någon starkt nedbrytande effekt att döma av resultatet efter enbart doppning i 24 och 288 timmar.



Figur 65 a



Figur 65 b

I övrigt är spridningen förvånansvärt låg, bara 5 - 10 % av motsvarande medelvärden trots att provkropparna tagits från två skivor av varje sort.

Försvagningen vid 90 och 95 % r.f. är genomgående mindre än vid böjprovning, och denna fördelaktiga skillnad är ännu tydligare vid jämförelse av kvarvarande hållfasthet efter 12 dygns vattendoppning, d.v.s. de värden som finnas införda vid 100 % r.f. i diagrammen. Man kan härav dra slutsatsen, att tryckhållfastheten är mest fuktkänslig, vilket böjprovningen av plywood redan har åskådliggjort.

Draghållfasthet i kp/cm^2 samt spridning $\pm$ s vid olika luftfuktighet samt efter vattendoppning. Plywoodprovkroppar uttagna längs ytfanérens fiberriktning, prover av övriga material tagna tvärs maskinriktningen.

Sort	Relativ luftfuktighet %				Vattendoppning timmar, 20 °C		
	32	65	90	95	288	24	24 med torkning
U-plywood 7 mm		440	365				
Spånskiva 10 mm	101 $\pm$ 5	89 $\pm$ 25	85 $\pm$ 9	65 $\pm$ 6	59 $\pm$ 7	85 $\pm$ 15	94 $\pm$ 25
Byggboard 12 mm	104 $\pm$ 4	91 $\pm$ 8	81 $\pm$ 8	67 $\pm$ 8	40 $\pm$ 4	56 $\pm$ 3	97 $\pm$ 7
Hård board 1/4"	225 $\pm$ 7	221 $\pm$ 19	160 $\pm$ 3	136 $\pm$ 11	83 $\pm$ 6	144 $\pm$ 7	189 $\pm$ 27
Oljehärdad board 1/4"	283 $\pm$ 10	283 $\pm$ 10	260 $\pm$ 15	233 $\pm$ 8	196 $\pm$ 13	274 $\pm$ 8	272 $\pm$ 22

Diagrammet i figur 64 redovisade brottdeformationer ϵ kalkylerade till 0,013 - 0,022 vid böjning av 1/8" hård board i 65 % r.f. Vid dragprovning av långa rem-sor brukar brottöjningen för sådan board bli 0,007 - 0,015, när brottet faller inom mätlängden. Att deformationen blir större vid böjning än dragning förklaras av att de allra yttersta ytskikten redan passerat sitt hållfasthetsmaximum vid böjning, innan maximalt moment uppnåtts.

För de fem 'typskivorna' har brottöjningen vid dragprovning (korttidslast) uppmätts till följande ungefärliga värden vid 90 % r.f.

U-plywood	0,0075
Spånskiva	0,0040
Byggboard	0,0130
Hård board 1/4"	0,0070
Oljehärdad 1/4"	0,0075

För spånskivan har samma töjning erhållits vid 65 % r.f. , medan boardsorterna brukar få något lägre värden vid torrt klimat. Belastningstiden inverkar på brottöjningen.

Tryckprovning.

Ej heller för bestämning av tryckhållfasthet finnes någon svensk standard eller internationellt accepterad, dominerande metod. Problemet ligger i att förhindra knäckning av de relativt tunna skivorna vid belastning parallellt med dessas plan, d.v.s. den riktning som nu skall studeras.

Uppstyvning kan ske antingen genom att limma samman flera skivor till ett block av tillräcklig tjocklek i förhållande till knäcklängden eller genom att styra en slank provkropp mellan från sidorna ansatta 'gafflar' med fjädrande tungor lätt rörliga i provets belastningsriktning men styva vinkelrätt däremot. Båda dessa metoder rekommenderas av FAO.

Vid laboratoriets tryckprovningar har sammanlimmats provkroppar i format 5 x 5 cm till block av ca 5 cm tjocklek. Därmed utjämnas lokala kvalitetsvariationer och erhålles en total brottlast passande den tillgängliga tryckprovningsapparaten. Limningen har utförts med ett högvisköst kontaktlim (Cascos), som har liten insugning och förblir ganska mjukt. Blocken har under lång tid konditionerats vid alternativt 65 och 90 % r.f. före provning. Vattendoppning har ej utförts eftersom uppfuktningen skulle bli mycket ojämn i kropparna.

Som framgår av tabellen nedan har endast två block provats vid vardera klimatet. Resultaten har emellertid blivit ganska jämna, och eftersom varje block består av 4 - 6 skivelement, bör totalmedelvärdena ha ungefär samma grad av noggrannhet som vid böj- och dragprovning.

Tryckhållfasthet i kp/cm^2 i skivans plan tvärs maskinriktningen vid 65 och 90 % r. f.

Sort	Relativ luftfuktighet %				$\sigma_{90} : \sigma_{65}$
	65	Mv.	90	Mv.	
Spånskiva 10 mm	130	136	89	93	69 %
	142		98		
Byggboard 12 mm	81	76	37	35	46 %
	71		33		
Hård board 1/4"	176	180	97	102	56 %
	185		107		
Oljehärdad 1/4"	247	266	219	213	80 %
	284		208		

Spånskivan har, som tidigare påpekats, högre tryck- än draghållfasthet i motsats till samtliga boardkvalitéer.

Kolumnen till höger i tabellen anger den kvarvarande hållfastheten vid 90 % r. f. i procent av motsvarande vid 65 % r. f. Fuktighetens inverkan är mycket större än vid dragprovning och större än vid böjprovning, vilket bekräftar tidigare slutsatser. Detta är en viktig iakttagelse som motiverar fortsatta undersökningar.

Tryckbrott i spånskivan får karaktär av uppspjälkning i tunnare skikt samt knäckning av dessa. Byggboard ger i princip samma brottbild men detaljrikare p. gr. av fibrernas större böjlighet särskilt vid hög fuktighet. Hård och oljehärdad board erhåller snarare skjuvbrott med ganska rena, sneda glidytor, vilket förorsakar

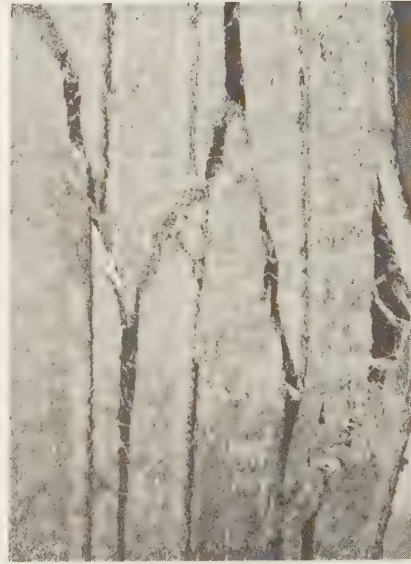
klyvning av blocket. Figur 66 visar sådana tryckbrott i nämnd ordning från vänster till höger.



a. Spånskiva



b. Byggboard



c. Oljehärdad board

Figur 66. Tryckbrott

Figur 67

Provtryckning av väggblock med långtidslast.



Tryckhållfastheten mot ytan har vanligen underordnat intresse eftersom den brukar vara mer än väl tillräcklig för alla normala behov. Hård och oljehärdad board pressas med ca 50 kp/cm^2 vid fabrikationen för att nå en densitet av $0,90 - 1,00 \text{ g/cm}^3$, och högre täthet är nästan omöjlig att uppnå. Försök med 200 kp/cm^2 tryck, vilket medför praktiska svårigheter, ger sällan värden över $1,15 \text{ g/cm}^3$. Sådana skivor innehåller dock fortfarande en hel del hålrum ty trämateriallets egen densitet räknad porfri ligger enl. F Kollmann vid ca $1,5 \text{ g/cm}^3$, vilket värde dock reduceras något av absorberat vatten.

Plywood, spånskivor och byggboard, alla med densiteten $0,6 \text{ g/cm}^3$, är självfallet mer kompressibla än hård och oljehärdad board, men det är svårt att ange någon egentlig tryckhållfasthet eftersom motståndet ökar med tilltagande deformation. Av praktiskt intresse är emellertid, att pressning i samband med fanéring och laminering ej medför stor kompression och ev. inre krossning, som försämrar materialets tvärdragstyrka.

Vid ytbeläggning av byggboard bör limtrycket begränsas till $2 - 5 \text{ kp/cm}^2$, vilket visserligen blott ger $0,5 \%$ tjockleksminskning vid kallpressning (20°C) men ca 5% vid normal varmpressning 10 min vid 105°C . Skivorna bör ha låg fuktkvot, ej över 5% , vid pressningens början för att ej mjukas upp av fukt från limmet och ev. delaminera p.gr. av inre ångtryck, när pressen öppnas.

Spånskivor och plywood tål höga tryck bättre än byggboard. Som jämförelse kan nämnas, att byggnadsvirke använt i bärande konstruktioner får belastas med 20 kp/cm^2 eller något däröver enligt de statliga anvisningarna.

Delaminering.

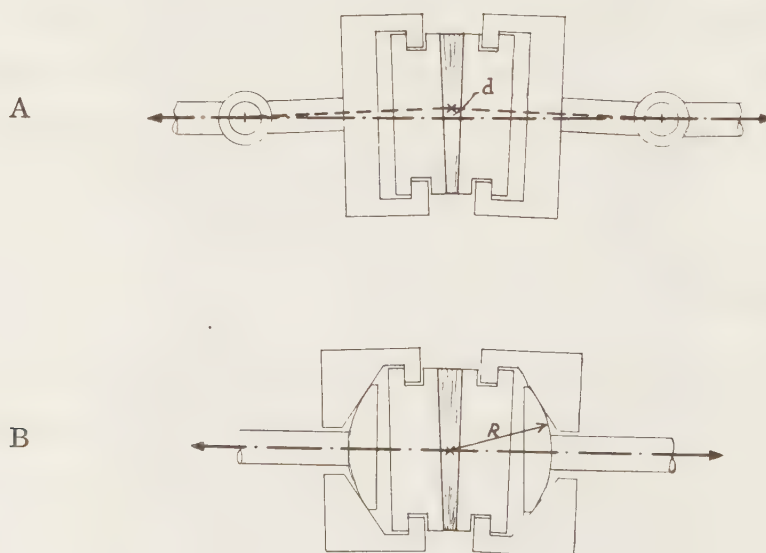
Tillverkningsmetoderna medför, att spånskivor och board erhåller en skiktad uppbyggnad med flertalet partiklar orienterade i arkens plan. Sådän anisotropi ger små fuktrörelser och stor hållfasthet i planet men desto sämre egenskaper vinkelrätt däremot. Tjocklekssvällning har dock sällan praktisk betydelse eftersom rörelserna blir små räknade i absoluta mått. Tendensen till uppspjälkning i skikt, delaminering, är däremot ofta till allvarlig nackdel.

Spjälkning kan inträffa av tre principiellt skilda orsaker. Skivan kan utsättas för dragning vinkelrätt mot ytan, vilket är den mest renodlade formen av delaminering. Motståndsförmågan provas genom mätning av den s.k. tvärdraghållfastheten såsom närmare visas här nedan. Skiktning kan också uppstå genom att skivans kant utsättes för kil-verkan såsom från en spik eller skruv. Tryckbelastning i skivans plan medför ibland en liknande klyvning, vilket har visats i figur 66. Slutligen kan spjälkning uppkomma p.gr. av skjuvning, s.k. skiktsskjuvning, men den belastningsformen skall diskuteras senare under avsnittet 'Skjuvning'.

I samtliga fall blir resultatet en delaminering. Uttrycket 'delamineringsmotstånd', vilket på sina håll börjat användas i betydelsen tvärdraghållfasthet, är sålunda ej entydigt och bör undvikas.

Figur 68 visar två olika anordningar A och B för tvärdragprovning. En provkropp 5 x 5 cm har i båda fallen limmats fast centralt mellan två block av aluminium. Två käftar griper in i blockens urtag och utsätter provkroppen för dragkraft vinkelrätt mot dess yta. I anordning A är käftarna ledade på det sätt som bl.a. FAO anvisar, vilket accepterats på många håll. Därunder visas ett utförande B, som laboratoriet utvecklade 1961 och sedan dess använt.

Figur 68



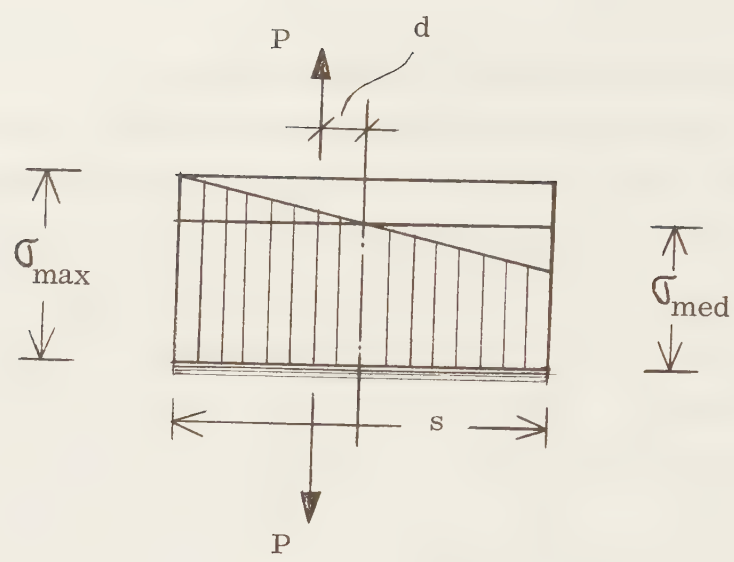
Figuren demonstrerar hur det traditionella arrangemanget A med utanför-liggande leder icke förhindrar excentriciteten d i belastningen. Ledernas rotationscentrum bör i stället ligga i provkroppens mittpunkt eller åtminstone nära denna såsom i alternativ B för att medgiva god centrering.

Observera, att i princip samma resonemang gäller vanlig dragprovning parallellt med ytan, där dock provkroppens längd innebär en komplikation som påfordrar mycket noggrann upplinjering med backarna. Ev. 'midja' hos dragprovkropparna ökar effekten av varje excentricitet.

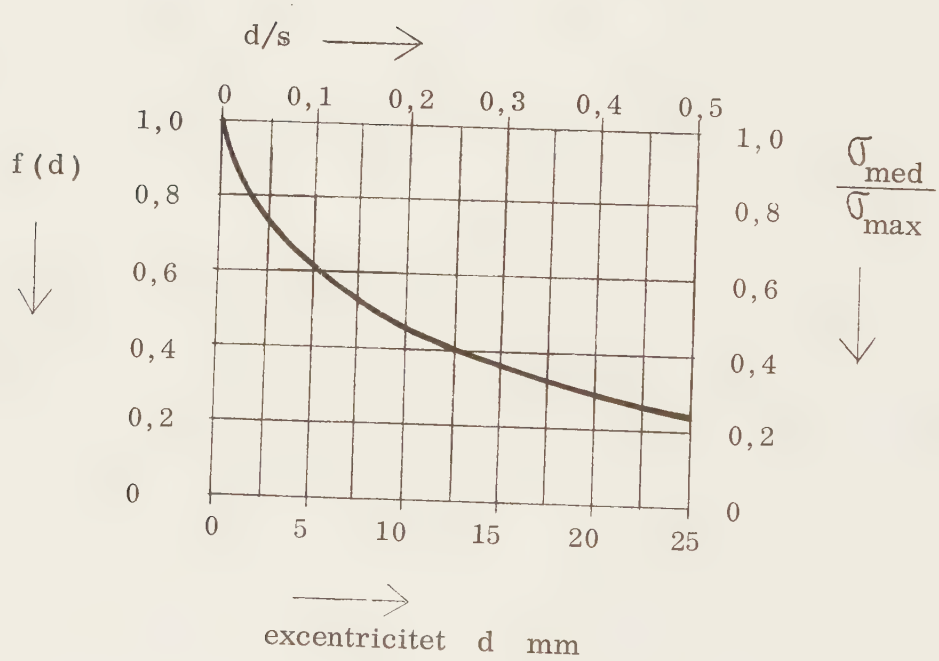
Man tycker kanske, att felen borde bli helt försumbara, när man arbetar noggrant vid infästning av provkroppar för tvärdragning. Figur 69 visar emellertid hur snabbt spänningsfördelningen ändras och den observerade brottpåkänningen σ_{med} avtager, när dragkraften P inkommer med excentriciteten d . Om provkroppens mått är 50×50 mm, ger redan en excentricitet av 1 mm 10 % reduktion av brottlasten, och 5 mm ger 40 % reduktion. Tvärdraghållfastheten för board är av storleken 10 kp/cm^2 , varför man verkligen måste ha en riktig och välskött utrustning om man skall våga rapportera värden med en decimal, vilket på sina håll anbefalles !

Det finns anledning att göra ytterligare en jämförelse mellan de alternativa anordningarna i figur 68. När dragningen börjar, ställer lederna lätt in sig enligt skisserna, men vid ökad dragkraft ger friktionen successivt större motstånd mot ytterligare vinkeländringar. P.gr. av ledernas utformning blir anordning B styvare och slutför provbelastningen till brott med bibehållen inriktning. Modell A med utanförliggande leder anpassar sig däremot lättare till en successiv, ojämn deformation (tvär-töjning) i provkroppen.

Det är icke självklart, att någondera anordningen alltid skall ge högre brottlast. Risken för begynnande spjälkning vid en svag kant är dock mindre vid typ B, som vid utförda metodkontroller också givit genomsnittligt högre värden för hård board. Porösa kvalitéer kanske ger ett annat samband. Rent principiellt förefaller dock central rotationspunkt vara riktigast, och i varje fall bör ledernas avstånd från provkroppens centrum rapporteras.



$$f(d) = \frac{\sigma_{\text{med}}}{\sigma_{\max}} = \frac{\frac{P}{s^2}}{\frac{P}{s^2} + \frac{P \cdot d}{s^3/6}} = \frac{s}{s + 6d}$$



Figur 69

Tvärdragprovning ger besked om var skivans svagaste snitt ligger, och den upplysningen är av intresse både för ev. förbättring av tillverkningsprocessen och bedömning av styrkan hos limfogar etc. Hård board brister i mittskiktet eller nära den viramönstrade sidan, däremot ytterst sällan intill slätsidan. Byggboard brukar spjälkas i mittskiktet, som ej alltid hinner torka och uppnå full hållfasthet, innan arket lämnar varmpressen. Porös board ger däremot brott i yt-skikten, varför även en ytlig impregnering med härdolja kan medföra mycket stor kvalitetsförbättring.

I tabellen nedan redovisas tvärdraghållfasthet samt brottläge för de fem 'typskivorna' dels vid 65 % r.f., dels efter 24 h doppning följd av torkning i 65 % r.f. Varje medelvärde är baserat på nio provkroppar tagna från tre olika skivor. I anmärkningskolumnen markeras brottläget med s m eller v, som betyder vid slätsida, i mittskikt resp. vid virasida.

Tvärdraghållfasthet i kp/cm^2 samt spridning $\pm$ s vid 65 % r.f. samt efter vattendoppning 24 h följd av torkning.

Sort	Kond. 65 % r.f.		Vattendoppning 24 h följd av kond. 65 % r.f. en vecka	
	kp/cm^2	Brott-läge	kp/cm^2	Brott-läge
U-plywood 7 mm	$15,4 \pm 2,5$	Lim- och träbrott	$15,3 \pm 1,5$	Limbrott
Spånskiva 10 mm	$6,6 \pm 1,0$	m	$6,8 \pm 0,8$	m
Byggboard 12 mm	$2,4 \pm 0,4$	m	$2,1 \pm 0,5$	m
Hård board 1/4"	$6,8 \pm 0,9$	v	$7,7 \pm 1,4$	v
Oljehärdad 1/4"	$11,1 \pm 0,8$	m	$10,3 \pm 0,7$	m och s

U-plywood har högre styrka än övriga skivor, och doppningen i vatten har ej medfört reducering.

Spånskivan har också ett högt värde, som stått sig bra och visar skivans allmänt höga kvalitet.

Resultaten för Byggboard och Hård board är måttliga men styrkeökningen hos den hårda skivan efter doppning intressant. Effekten är ej unik utan har iakttagits flera gånger hos skilda hårda kvalitéer.

Oljehärdad 1/4" har visserligen höga värden och är en absolut toppprodukt i de flesta andra avseenden, men det förekommer både hård och oljehärdad board av andra fabrikat med tvärdraghållfasthet upp emot 15 kp/cm².

Spridningen är ganska stor. Variationskoefficienter av 15 - 20 % förekommer.

Skjuvning.

Skjuvhållfastheten i olika riktningar av en skiva är svår att bestämma entydigt. Även om man fastlägger provningsmetodiken ordentligt, blir de erhållna mätvärdena icke generellt tillämplbara i praktiken, vilket bl.a. beror på kanteffekter av olika slag och ytornas storlek.

Skjuvning mellan skikt i skivans plan betecknas skiktskjuvning med tanke på effekten av ett ev. brott. Om skjuvningen belastar skivan så som i livet av en balk, brukar man tala om panelskjuvning. Men skjuvspänningar kan finnas också i en tredje riktning, vilken mer sällan diskuteras, nämligen som klippning eller stansning vinkelrätt mot skivans plan. Sådan belastning kallas helt enkelt för klippning i fortsättningen.

Skiktskjuvning leder ofta till brott och kostsamma skador. Skjuvhållfastheten överskattas och spänningar från fuktväxlingar underskattas. Ev. förberedande hållfasthetsprovning har kanske varit vilseledande p.gr. av gynnsam fuktnivå eller kort belastningstid, som givit värden omkring 30 kp/cm², d.v.s. mångdubbelt mer än man praktiskt kan utnyttja.

Som regel är skiktskjuvhållfastheten tre gånger större än tvärdraghållfastheten. Den exakta proportionen beror bl.a. på hur skjuvningen appliceras - hur

renodlad den kan göras -, men sambandet mellan de två egenskaperna brukar vara starkt. En undersökning utförd av F Kollmann och H Krech / 29 / på hård board av olika sorter gav i genomsnitt förhållandet 1 : 2,76 och korrelationskoefficienten 0,94. Det skulle därför vara tämligen onödigt att prova båda egenskaperna. Skjuv-provningar har heller icke utförts på de fem 'typskivorna'.

I detta sammanhang måste emellertid uttryckligen varnas för att draga slutsatser om tvärdrag- och skiktskjuvhållfasthet från uppmätta värden för böj- eller draghållfasthet. Även skivor med i övrigt god hållfasthet är ofta nog benägna till skiktning i något skikt, vilket beror på tillfälliga fel i pressningen och kan liknas vid 'limbom' i plywood.

Ändå kan man säga, att skivans drag- och tryckhållfasthet har samband med dess skiktskjuvhållfasthet. Eftersom arken är uppbyggda av små partiklar orienterade huvudsakligen i samma plan, är skjuvkrafterna dem emellan grunden för all annan hållfasthet hos skivorna. Brott uppkommer mellan partiklarna, sällan i dem.

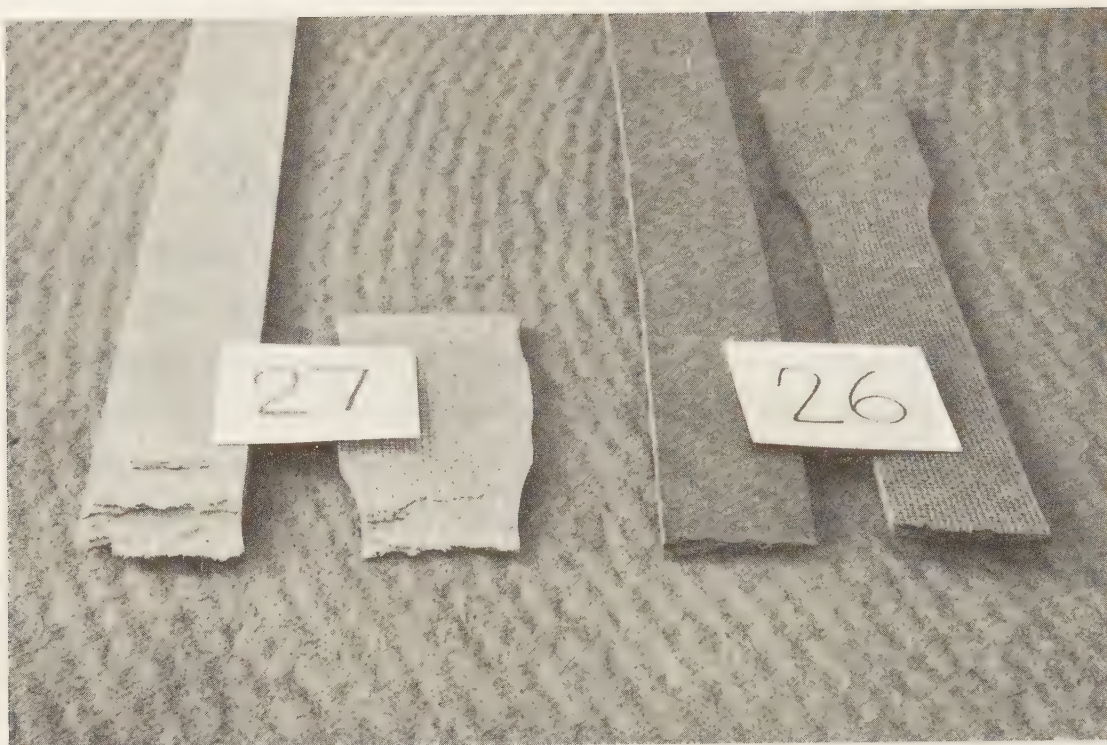
En board-remsa utsatt för dragbelastning i sin längdriktning kan sägas bestå av ett flertal tunna skikt. Om skjuvhållfastheten dem emellan är låg, kommer dragbrottet att inträffa i utpräglat svaga delar hos varje enskilt skikt, och mellan dessa brottpunkter utvecklas skiktskjuvbrott. Brott bilden som helhet blir flikig och uppvisar stor skiktning. Är skjuvhållfastheten däremot hög, framtingas närliggande dragbrott i alla skikt. Brottet blir kort och rent.

Flikig brottyta erhålles alltså när skjuvhållfastheten är låg relativt draghållfastheten. Dragbrott hos massivt virke belastat i fiberriktningen kan sägas utgöra ett extremt exempel.

Kort, rent dragbrott uppstår hos material med relativt hög skjuvhållfasthet. Väl värmebehandlad board kan tagas som förebild.

Figur 70 visar olikartade, typiska dragbrott hos hård board.

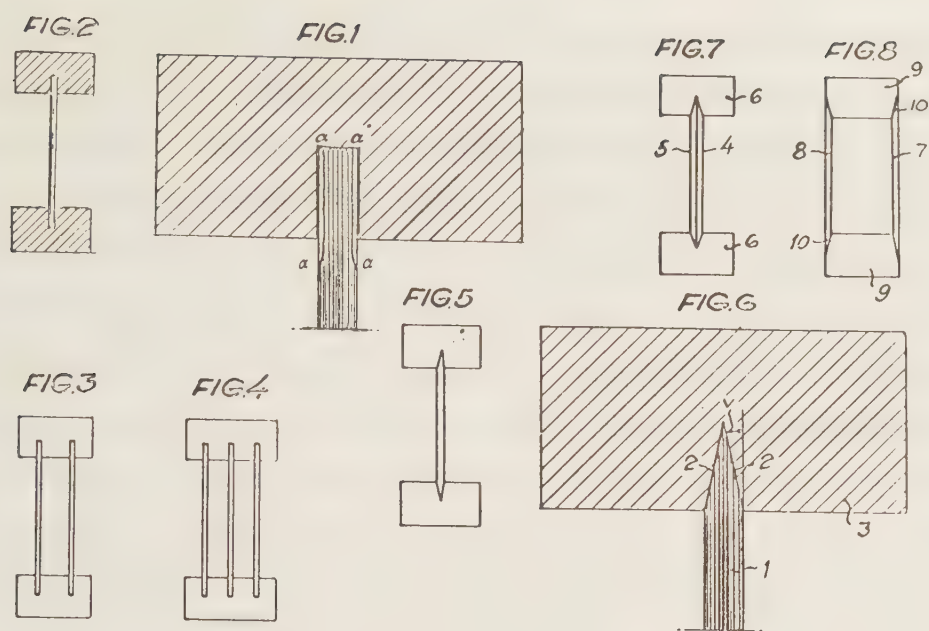
Det kan vara på sin plats redan här att visa hur problemet med infästning av skivor benägna att spjälka kan klaras i sådana fall, där stora skjuvkrafter påräknas, t.ex. mellan liv och fläns i balkar. Figur 71 a återger en del av



Figur 70 Dragbrott hos ohärdad board (27) och härdad (26).

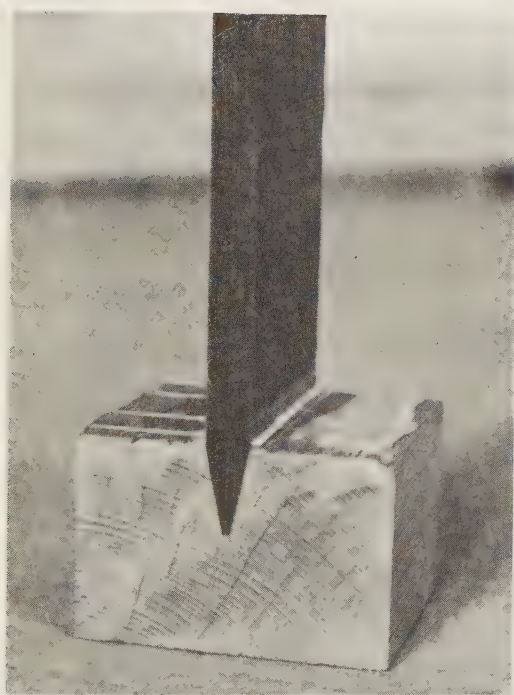
ritningsbilagan till svenska patentet 140019 / 30 / som "..... kännetecknas därav, att den infästa delen av livet är avfasad över hela eller i det närmaste hela sektionssytan, så att plattans hela sektion förstärkes mot spjälkning intill limfogen". Metoden användes 1949 med framgång vid tillverkning av flera tusen löpmeter balkar för stommar i lantbruksbyggnader. En mindre utpräglad fasning av skivorna utnyttjas i AB Elementhus' huselement och ger förutom starkare limfog även säkrare passning mellan boardliv och flänsar.

Både skiktskjuvning och panelskjuvning av board har studerats av H Granum, men endast en del av hans undersökningar har offentliggjorts / 31 /. En första undersökning gav för 1/4" hård board en skiktskjuvhållfasthet av $ca\ 27 \pm 3,5\text{ kp/cm}^2$ vid korttidslast jämfört med $ca\ 22 \pm 3\text{ kp/cm}^2$ för 1/2" plywood provad på likartat sätt. Som tillåten skiktskjuvspänning föreslogs $(\tau - 2s) \frac{9}{16} \cdot \frac{2}{3} = ca\ 7,5\text{ kp/cm}^2$. Faktorn 9/16 avsågs reducera för långtidsbelastning, medan 2/3 skulle vara en allmän säkerhetsfaktor.



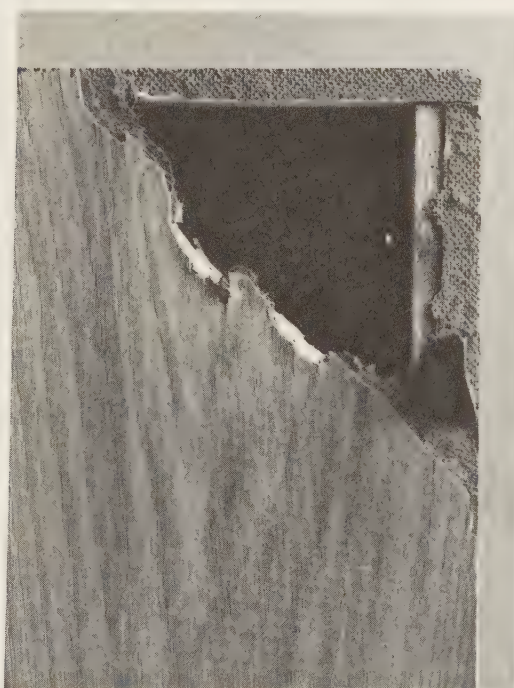
Till Patent No 140 019

Figur 71 a



Figur 71 b

Balkliv av dubbel 3/16" board



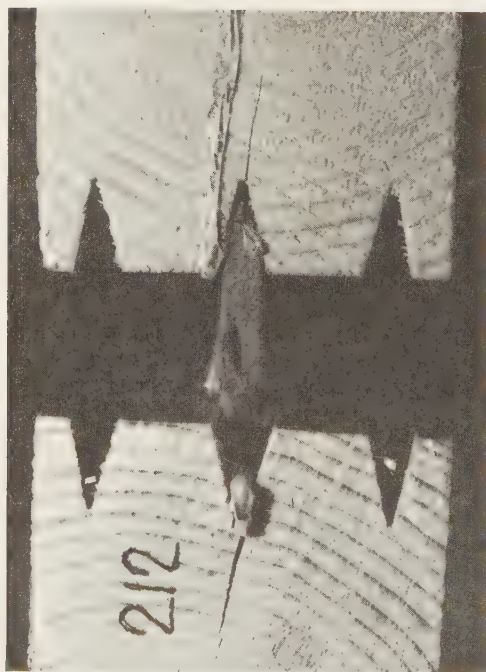
Figur 72

Skjuvbrott i board limmad mot
alltför smal dörram.

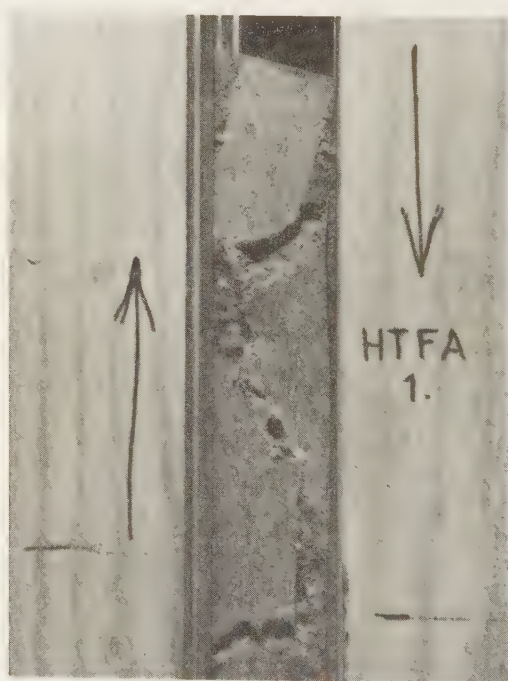
Motsvarande provningar utförda vid det egna laboratoriet vid samma tidpunkt, 1954, gav något lägre värden för hård board men för oljehärdad ca 45 kp/cm^2 i brottlast, varför 8 kp/cm^2 rekommenderades som tillåtet värde. Även dessa värden avsågs dock begränsade till klimat med måttlig fuktighet, ca 65 % r.f.

Både Granums och egna undersökningar har upprepade gånger i olika sammanhang visat, att tvärdrag- och skiktskjuvhållfastheten påverkas relativt litet av högre fuktigheter. Hållfastheten vid 65 % r.f. har endast reducerats med 10 - 15 % vid luftfuktigheter omkring 90 %, och efter förnyad torkning har boarden återfått styrkan.

Panelskjuvhållfastheten hos hård board har vid laboratoriet uppmätts vara minst 63 % av draghållfastheten och för oljehärdad board minst 60 %. Vid dessa prov har skivornas kanter limmats med kilfog mot grova träreglar såsom visas i figur 73. Trots denna gedigna infästning har renodlade skjuvbrott icke erhållits, se figur 74.



Figur 73



Figur 74

Även Granum har haft svårigheter att få fram panelskjuvbrott. Limsnikade provkroppar av i princip samma form som i figur 73 har ofta givit skiktsskjuvning trots stora limytor. Vid brott har uppmätts ca 150 kp/cm^2 panelskjuvspänning, men tyvärr redovisas ej samma boardkvalitets drag- och tryckhållfasthet. Värdet utgör 60 % av 250 kp/cm^2 , som kan anses ha varit en rimlig, normal draghållfasthet hos ifrågavarande hårda 5 mm tjocka board.

Dessa ungefärliga resultat kompletteras och bekräftas visserligen av prov med I-balkar med liv av board, men det vore önskvärt att grundligare utreda panelskjuvningen med de metoder som ASTM och FAO anvisar för motsvarande provning av plywood. Sådana försök har också förberetts med de fem 'typskivorna' vid olika luftfuktighet, men resultat föreligger ej ännu.

Väsentligt i sammanhanget är, att board och spånskivor har samma panelskjuvhållfasthet i alla riktningar, varför t.ex. balkliv kan utsågas rationellt ur de stora arken. Plywood däremot bör, som bekant, helst uttagas så att fanérens fiberriktning bildar 45° vinkel mot skjuvspänningen för att ge bästa hållfasthet och styvhet.



Figur 75 Del av balk belastad till skjuvbrott.

Klippning, det tredje riktnings-alternativet för skjuvning, diskuteras och provas sällan men är en viktig belastningsform i vissa sammanhang. Som exempel kan nämnas sandwichkonstruktioner utsatta för punktlaster vinkelrätt mot ytan. I samband med utveckling av golvelement har gjorts en del provbelastningar för att efterlikna punktlaster från tyngre möbler o.dyl. Korttidshållfastheten hos

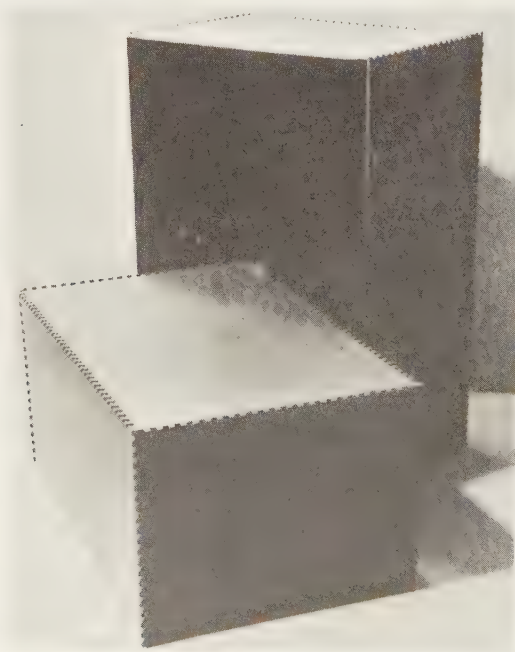
1/4" hård board utsatt för klippning har därvid visat sig vara av storleken 75 kp/cm² vid normalklimat. Detta värde motsvarar dock det praktiska fall, då boarden icke är helt perfekt understödd. Brottytorna blir orena. Inom en zon av 2 - 3 mm bredd uppstår en blandning av böjbrott, skiktning och klippning.

Om man emellertid renodlar klippningen så att den motsvarar stansning av plåt vid metallbearbetning, d.v.s. sker mot s.k. dyna, ger även board skarpa snittytor. Det specifika motståndet vid sådan skjuvning blir avsevärt mycket högre än ovannämnda 75 kp/cm². P.gr. av boardens kompression sker emellertid brott icke samtidigt genom hela tjockleken utan börjar vid verktygets och dynans skarpa kanter på boardens över- respektive undersida. Slutfasen blir däremot ett momentant skjuvbrott i mittskikten. Av detta resonemang framgår, att man knappast kan åstadkomma en renodlad och likformig skjuvspänning vid klippning. Brottpåkänningen för snittet som helhet blir mycket beroende av skivans kompressibilitet och tjocklek samt verktygets form och skärpa.

Möjligheten att klippa hård board och stansa skarpa hål i den utan alltför stor momentan kraft utnyttjas kommersiellt vid tillverkning av perforerade skivor, bakstycken till radioapparater, invändig klädsel av bilarosser m.m. Vid laboratoriet har utvecklats en metod för enkel och stark sammanfogning av träfiberskivor kant vid kant eller kant mot yta. Principen har varit att utnyttja stora, stansade snittytor för att få fäste tvärs igenom boarden vid limning. / 32 /.

Figur

76



Spik- och skruvhållkraft.

Skivors förmåga att ge fäste för spik, skruv och plugg av olika slag samt, omvänt, möjligheten att förankra skivor med sådana fästorgan beror ej enbart av materialens grundläggande hållfasthetsegenskaper. Det är allmänt bekant, att man ej med fördel spikar och skruvar i ändträ, men att virke i de två andra huvudriktningarna ger utmärkt gott fäste. Likaså vet man av erfarenhet, att plywood tål kraftig spikning långt ut mot kanterna utan att spricka, vilket där-
emot lätt händer med virke. Spånskivor och board i sin tur har andra egenskaper, som det fordras erfarenhet att bemästra och utnyttja.

Det finns tre principiellt skilda orsaker till att träprodukter ger så olika resultat :

- a. Porös struktur och sega fibrer ger materialet möjlighet att lokalt fjädra undan men ändå sjunka in i skruvars gängor utan att smulas sönder, vilket senare lätt händer i hårt värmebehandlad board.
- b. Växlande fiberriktningar förhindrar spjälkning.
- c. Hög tvärdraghållfasthet motverkar skiktning både vid indrivning och utdragning av skruvar och andra fästorgan.

De fem typskivorna ger alla gott fäste i ytan, särskilt om lämpliga hål för-
lorras, men spånskivor och board (byggboard) är avgjort sämre än virke vid infästning i kantytorna. Detta beror dels på relativt låg tvärdraghållfasthet hos skivorna - furu- och granvirke håller $30 - 40 \text{ kp/cm}^2$ - , dels på att de korsande fibrerna förhindrar skruvgångor att skära in mellan väl förankrade fibrer. Vanliga träskruvars konicitet ger kilverkan, som ej kan upptagas i form av lokal deformation.

Vid laboratoriet har provats olika typer av s.k. självgående skruv avsedd för metall, bl.a. en modell som liknar en gängtapp, i syfte att minska kilverkan och åstadkomma en bättre utvecklad gänga i byggboard. Resultaten har ej blivit så uppmuntrande. Boardfibern är för spröd och gängstigningen för liten i förhållande till träpartiklarna.

Man kan naturligtvis ganska lätt prova olika skivors hållkraft och göra jämförelser, men det finns ett mycket stort antal praktiskt tänkbara kombinationer av belastningsfall och fästorgan, varför man först bör göra en gallring grundad på följande erfarenheter :

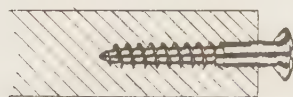
Klenare spik och skruv, X-krok o.dyl. använda för upphängning av tavlor m.m. på väggar erhåller så gott fäste i 'typskivorna' och liknande material av andra fabrikat, att fästorganens egen styrka och böjstyvhet är avgörande för brottlasten. Observera att bärförmågan vid sådan belastning icke ökas, när spiken eller skruven indrives snett uppifrån och nedåt. Detta medför nämligen vid stor last en vinkeländring hos stiftet som verkar spjälkande på skivan. Störst bärkraft erhålles faktiskt om indrivning skett nedifrån och uppåt, vilket resulterar i att fästorganet nyper sig fast i skivan vid belastning !

Expanderande pluggar och clips ger så stora hållkrafter i de aktuella skivorna, att dessa ryckas loss från underlaget eller blir störande oplana kring belastningspunkten, innan full brottlast uppnås. Hållkraften är alltså mer än tillräcklig, och maximilasten bestämmes av andra faktorer.

Vid infästning av konsoler för bokhyllor, fönsterbänkar o.dyl. är hållkraften vid skruvars utdragning ur skivornas ytor avgörande. För att få bästa fäste väljes helgängade skruvar, gärna korta sådana men med djup gängprofil, t.ex. plåtskruv. I så fall blir styrkan vanligen så stor, att pressade plåtkonsoler viker sig, eller skivan böjes av momentet från konsolen. Men om man ändå önskar provning av sådan hållkraft, bör en effektiv skruvtyp användas, t.ex. plåtskruv eller annan helgängad skruv. Gängprofilen kan variera mellan f.övr. lika skruvar.

Infästning i kantytor medför verkliga problem ibland, varför provning kan vara motiverad. Den kan avslöja betydande kvalitetsskillnader mellan likartade skivor. Bäst fäste ger långa, smala skruvar med skarp gänga, men sådana är dyrbara och arbetskrävande. Vid provning användes därför mer normala träskruvar, t.ex. 1" nr 7, som i praktiken brukas för fastsättning av kantlister, gångjärn etc. Förborrning skall utföras så att skivans tjocklek ej lokalt ökar, när skruven idrages.

Skruvhållkraft i kp vid 65 % r.f., riktvärden vid infästning i yta och kant.



Plåtskruv 3/4" x 10

Träskruv 1" x 7

Sort	Utdragning ur yta kp		Utdragning ur kant kp förborrning	
U-plywood 7 mm	85			
Spånskiva 10 mm	55	75	Ø 2,6 mm	
Byggboard 12 mm	85	40	Ø 2,8 mm	
Hård board 1/4"	50			
Oljehärdad 1/4"	80			
Furuvirke 10 mm	115	125	Ø 2,0 mm	

Om skivor av ifrågavarande typer fastspikas vid kanterna mot bakomliggande virke, fordras grov spik med tät delning om skivornas egen hållfasthet skall avgöra förbandets styrka. I vanliga fall blir spikarna den svagaste länken och deformationerna så stora, att brottlasten är tämligen ointressant. Önskas stor styrka och styvhet hos sådana förband, erhålles detta bättre genom spiklimning.

Med tanke på bl.a. fuktrörelser är man däremot intresserad av styvheten i mer normala och måttligt belastade spikförband, varför 'spikmoduler', d.v.s. samband mellan spiklast och rörelse, redovisas i ett senare avsnitt av detta kapitel.

Deformation under korttidslast.

Board och träfiberskivor kryper relativt snabbt under last, och fortare ju högre den är, varför bestämning av korttidsdeformationer blir noggrannast vid låga påkänningar. E- och G-moduler kan sålunda mätas utan större problem, medan σ/ε -kurvans övre del blir osäker även vid mycket snabb pålastning,

varmed i detta sammanhang menas belastningstider kortare än de 10 - 30 sekunder som normalt förevarit.

Den kritik som tidigare riktats mot böjprovning anförde dels vinkelfel och föränderlig spännvidd, dels varierande belastningstid till brott. Dessutom har påpekats, att boarden ej är homogen utan vanligen tätare vid ytskikten, vars hållfasthet och E-modul ligger högre än mittskiktets.

De förstnämnda felkällorna faller bort, när böjprovning i sitt inledande skede användes för mätning av E-modulen, d.v.s. vid låg påkänning och liten deformation. Bristande homogenitet samt skjuvdeformation inverkar däremot fortfarande, men de resultat metoden ger kan åtminstone användas för jämförande provningar, t.ex. av E-modulens beroende av fuktigheten.

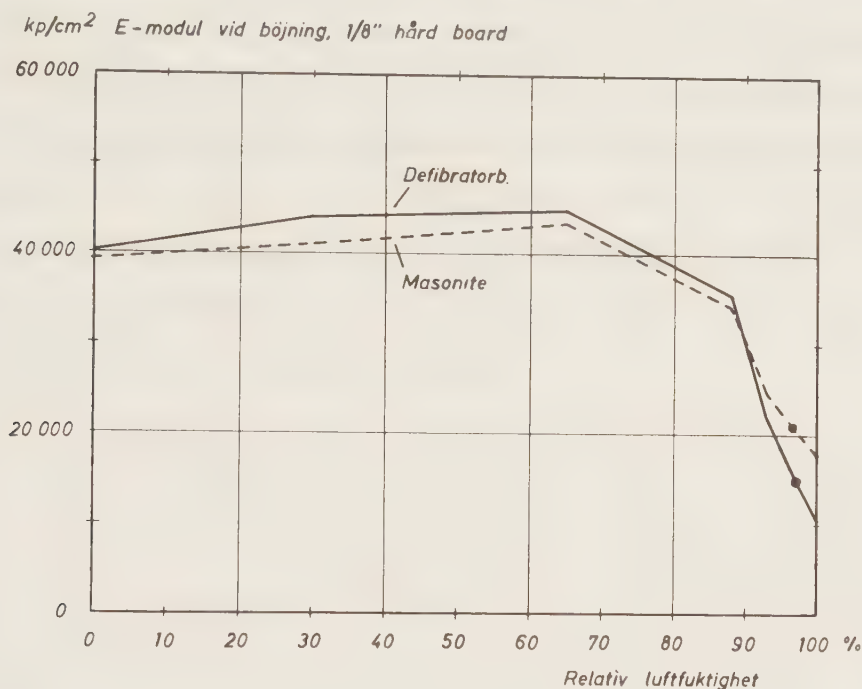
Figur 77 redovisar sådana resultat för 1/8" hårda skivor av en förstklassig defibratorboard samt Masonite. Provning har utförts efter torkning vid 105 °C, med fuktskyddad avkylning till 20 °C, samt konditionering i 30 65 88 93 och 97 % r.f. 20 °C. Dessutom har provkroppar efter konditionering i 65 % r.f. vattendoppats i ett och tre dygn före böjning. Efter ett dygn har erhållits ungefär samma E-moduler som i 97 % r.f. De har markerats med punkter i diagrammet. Resultaten efter tre dygns vattenlagring har - något oegentligt - införts vid 100 % r.f. Fuktkvoterna har dock för dessa prover varit mycket höga, ca 30 % för Masonite och 40 % för defibratorboarden. Motsvarande värden efter ett dygn var ca 20 och 27 %, d.v.s. ungefär dubbelt så hög som vid 90 % r.f. Den höga fuktigheten efter doppning utgöres till en del av 'ineffektivt' vatten i materialets porer.

Kurvorna visar 10 % högre E-moduler vid måttliga fuktkvoter än vid torrt tillstånd. Detta har förekommit vid fler böjprovningar, men ej erhållits vid dragprov.

Vid luftfuktigheter över 85 - 90 % avtager E-modulen snabbt, mer för defibratorboarden än Masonite. Vid 100 % r.f. återstår bara 1/4 $\pm$ 1/3 av det maximala värdet.

Även böjhållfastheten mättes vid dessa serier och befanns ha nästan samma

fuktberoende som E-modulen. Kurvorna är mycket lika inom hela området 0 - 90 % r.f. - böjhållfastheten utgör där 1/100 av motsvarande E-modul -, men mellan 90 och 100 % påverkas hållfastheten mindre än hårdheten.



Figur 77

Rutinmässig provning av byggboard under åren 1966 - 67 har vid 90 % r.f. givit elasticitetsmoduler (vid böjning) som utgjort 70 - 75 % av motsvarande värden vid normalklimat, 65 % r.f. 20 °C. Masonite har dock visat mindre fuktberoende.

Samma byggboard har vid dragning haft en E-modul som utgjort 78 - 91 % av den vid böjning uppmätta. Jämförelsen har gjorts vid normalklimat. Skillnaden mellan böj- och dragelasticitetsmodul är störst för kvalitéer med utpräglat täta, 'bakade' ytskikt.

Genom att mäta densitet och styvhet före och efter bortputsning av 0,9 mm tjocka ytskikt hos provkroppar av byggboard har skillnaden mellan yttre och inre skikt kunnat mätas. En kvalitet har t.ex. haft medel-densiteten 0,66 men 0,62 i mittskikt och 0,82 vid ytorna. Motsvarande E-moduler har bestämts till 24 600 20 100 och 46 000 kp/cm². För en annan kvalitet har erhållits 23 300

21500 och 32100. Detta innebär, att förhållandena mellan E-moduler vid dragning och böjning blir 0,78 respektive 0,83 för de två sorterna.

Ovannämnda E-moduler för hård board och byggboard är sekantmoduler för intervallen 0 - 30 och 0 - 15 kp/cm², där σ/ϵ -kurvorna är tämligen raka. Figur 78 visar hur töjningskurvor för hård board av olika kvalitéer successivt böjer av vid dragpåkänningar över ca 100 kp/cm². Proportionalitets- och flytgränser saknas.

Figur 78

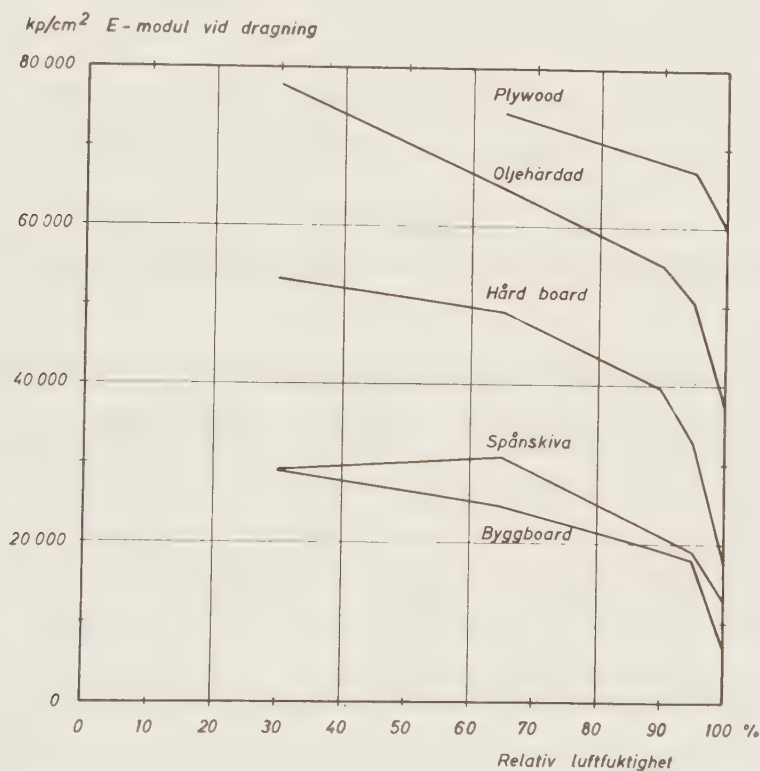


Som framgår av diagrammet varierar brotthållfasthet och -töjning inom vida gränser, vilket kan motivera några uppgifter om de olika sorterna. A och B är samma defibratorboard före och efter normal värmebehandling, som ökat hållfastheten och även brotttöjningen. Även E-modulen har ökat men obetydligt. C och D är två förstklassiga, värmehärdade sorter defibratorboard, medan E exemplifierar Masonite med dess vanligen något lägre brotttöjning men högre E-modul. F är en extremt stark board tillverkad av lövträ samt varmpressad under 50 % längre tid än normalt.

Betr. brottöjning vid böjning hänvisas till tidigare avsnitt 'Böjprovning'.

De fem 'typskivornas' drag-elasticitetsmodul vid olika fuktighet redovisas i figur 79, vars värden vid 100 % r.f. egentligen avser provkroppar vattenlagrade i 12 dygn. Mellan 65 och 100 % r.f. faller E-modulen ungefär som vid böjning av 1/8" hård board enligt figur 77. Utvecklingen vid torrare klimat är däremot olikartad. Vid torkning från 65 till 30 % r.f. avtog E-modulen något i samband med böjning av 1/8" board men har i stället ökat avsevärt för alla boardsorter i diagram 79. Det är visserligen fråga om olika skivor men borde innebära, att E-modulen vid tryckbelastning är avtagande inom samma fuktintervall, vilket ej undersökts närmare men borde kontrolleras.

Figur 79



Om man studerar böjstyvheten EI och 'dragstyvheten' $E \cdot A$ (A = arean) i stället för E-modulerna, blir ovannämnda skillnader ännu större eftersom tjocklekskrympning inverkar mer på I än på A .

Hela detta resonemang kan förefalla ointressant ur praktisk synpunkt, men

den iakttaga, ökande hårdheten vid dragning i samband med torkning under 65 % r.f. måste öka de krympkrafter som alstras i fast monterade skivor. Alltför ofta har sådana torkspänningar underskattats, vilket medfört brott i fogar av olika slag. Problemet återkommer i ett par sammanhang senare, varvid uppgifterna ovan ger en viss bakgrund.

Som underlag för dimensionering av tidigare omnämnda balkar med liv av board gjordes vid laboratoriet en del mätningar av skjuvmodulen hos hård och oljehärdad board i förhållande till samma skivors elasticitetsmodul vid dragspänning. Resultaten blev följande vid korttidsbelastning / 33 / :

Boardsort	Relativ luftfuktighet %		
	35	65	95
Hård	$G = 0,36 E$	$G = 0,43 E$	
Oljehärdad	$G = 0,43 E$	$G = 0,44 E$	$G = 0,37 E$

Provningen utfördes på sådana element och balkar som visats i figurerna 73 - 75.

Vid samma tillfälle bestämdes poissons tal $\frac{1}{m}$ vid dragning av 1/8" hård board. Endast fyra prov gjordes och gav resultat mellan 0,23 och 0,28 med medelvärdet 0,25. Härav erhålles skjuvmodulen

$$G = \frac{m}{2(m+1)} E_{\text{drag}} = 0,4 E_{\text{drag}}$$

Eftersom spånskivor och board i motsats till plywood icke har någon dominerande fiberriktning i planet, har det ansetts onödigt att bestämma skjuvmodulen för 'typskivorna'. För plywood gäller som bekant mer komplicerade förhållanden, vilka studerats ingående av G Larsson och B Norén / 28 och 34 /. Norén anger vid panelskjuvning av plywood modulerna 7 000 och 30 000 kp/cm² när skjuvspänningen har vinklarna 0°/90° resp. 45°/45° mot fanérens fiberriktning. För hård och oljehärdad board blir G ca 20 000 och 26 000 kp/cm² vid korttidslast och normalklimat. Dessa sistnämnda värden är fördelaktigt höga, men tyvärr medför

långvarig belastning betydande reduktion, vilket senare skall visas.

Det har sagts tidigare, att normal spikning vid skivors kanter ger förband, som icke alls motsvarar skivornas egen hållfasthet. Även styvheten blir dålig. I viss mån kan dessa brister avhjälpas med grövre och tätare placerad spik, men dennas infästning i bakomliggande virke förblir en relativt svag eller åtminstone vek länk. Detta gäller särskilt när skivan är tjock och spiklängden eller virkets tjocklek begränsad. Krafter i skivans plan ger moment i spiken, som antingen böjer sig eller överför momentet till virket, där hållkantrycket stiger markant.

Naturligtvis blir den totala deformationen i högsta grad beroende av virkets kvalitet, fiberriktning, ytfinish, fukthalt etc. Men dessutom inverkar en hel mängd andra faktorer, mest kanske friktionen mellan virke och skiva. Stor friktion och små rörelser i förbandet uppnår man genom att slå i spiken ordentligt - extra hård islagning innebär dock icke någon fördel - och välja en skallspik, som 'nyper fast' skivan mot underlaget, när spiken börjar stjälpas under belastning. Emellertid kan man icke med säkerhet påräkna sådana gynnsamma effekter ty fuktrörelser i virket kommer i sinom tid att minska spikens klämkraft, varvid deformationerna kan mer än fördubblas.

Friktionen ökas också om t.ex. en asfaltpapp klämmas fast mellan skiva och virke. I vissa fall har deformationerna därmed halverats, men även den effekten har nog begränsad varaktighet.

Vid laboratoriet har provats styvheten hos ett stort antal olika spikförband huvudsakligen för att utröna bästa sätt att montera board på väggar, där större fogrörelser kan medföra tapetsprickor. Endast några få mer allmängiltiga resultat kan här återgivas.

1. Spiken bör vara tjock, t.ex. nr 19 (ϕ 1,9 mm) för 1/8" hård, 1/2" porös och 9 - 12 mm byggboard.
2. Skallspik ger större brottlast än dyckert men knappast högre spikmodul (styvhet).

3. Med ökat kantavstånd stiger brottlasten något men ej spikmodulen. 15 mm är normalt tillräckligt för att nå maximal styvhet.
4. Styvheten blir större vid deformationer längs virkets fiberriktning än tvärs denna.
5. Styvheten är större om virket är hyvlat än ohyvlat.
6. Med skallspik 35/19 är brottlasten för 1/8" hård board ca 100 kp/spik och för 1/2" porös ca 40 kp/spik.
7. Skjuvrörelsen mellan 1/8" skiva och virke är vid 15 kp/spik (nr 35/19) 0,05 - 0,2 mm. För 1/2" porös board erhålles dessa deformationer redan vid 2 - 3 kp belastning.

FAO m.fl. rekommenderar en metod kallad 'Nail Holding, Lateral Nail Resistance'. Den innebär, att en viss spik till halva sin längd slås igenom skivan på visst avstånd från kanten och därefter drages mot denna tvärs sin egen längdriktning. Motståndet och brottets utseende skall rapporteras. Jämförande försök har emellertid visat, att provningsmetoden ger 25 - 50 % lägre värden, än när samma sorts spik användes för att fästa ifrågavarande skiva mot bakomliggande virke. Snarare motsvarar metoden det praktiska fall, då en skiva fastspikades mellan två virken, men även då uppkommer sekundära krafter som ökar motståndet. Därmed avses icke vilofriktion p.gr. av spikförbandets klämkraft, som lätt går förlorad vid fuktväxlingar, utan hindret för skivan att stukas upp av ökande hållkantryck.

LÅNGTIDSBELASTNING

Prefixet 'långtid' i rubriken aktualiserar genast en fråga, som är central för det fortsatta resonemanget, nämligen : Hur lång tid ? BABS 1960 (Kgl Byggnadsstyrelsens Anvisningar till Byggnadsstadgan) skiljer för träkonstruktioner mellan långtidslast, där tiden ej begränsas, och korttidslaster av två slag. Den minst varaktiga exemplifieras av stötar, broms- och accelerationskrafter, och vid dessa får en s.k. modifikationsfaktor av 1,4 användas att öka den materialpåkänning som tillåtes vid långtidslast. Den andra gruppen korttidslaster inrymmer sådana som vindkraft, tillfällig last av person (t.ex. på tak) eller fordon, last på byggnadsställningar, inverkan av klimatväxlingar m.m. Där tillåtes modifikationsfaktorn 1,2. *

BABS ger icke några exakta tidsgränser för korttidslast, men de refererade exemplen kanske kan sägas motsvara maximalt 0,01 h och 100 h. Långtidslaster av byggnaders egenvikt, snölast och nyttig last (även i lagerbyggnader) kan ha en teoretisk varaktighet av 50 å 100 år, d.v.s. storleken $5 \cdot 10^5 - 10^6$ h. Eftersom full last ytterligt sällan förekommer, kan man möjligen reducera denna tid eller kalkylera en adderad, dimensionerande effekt av perioder med full och partiell last.

För laboratoriemässiga hållfasthetsprov av rutinkaraktär är lasttider av 0,01 h (36 sek) eller något kortare vanliga. Vid slagprovning är tiderna dock nere i 10^{-3} sek eller storleken 10^{-6} h.

Hållfastheten hos virke utsatt för varaktig belastning har studerats av många forskare, varav F Kollmann refererar några / 15 36 /. Som resultat har en långtidskoefficient av 9/16 blivit allmänt vedertagen, dock ofta kompletterad av en extra 'säkerhetsfaktor' av 3/4, som dock tycks sakna närmare motivering. Samma resonemang har tillämpats även för plywood / 28 /. Inga speciella reservationer har framförts ens i de fall påkänningar förefinnas vinkelrätt mot trämateriallets fiberriktning, t.ex. vid skjuvning / 37 /.

Det är knappast förvånande, att man med denna bakgrund använde liknande

* Not : BABS 1967 har senare utgivits och anger koefficienten 1,4 för 'exceptionellt lastfall', vilket innefattar lasttider begränsade till max. en vecka.

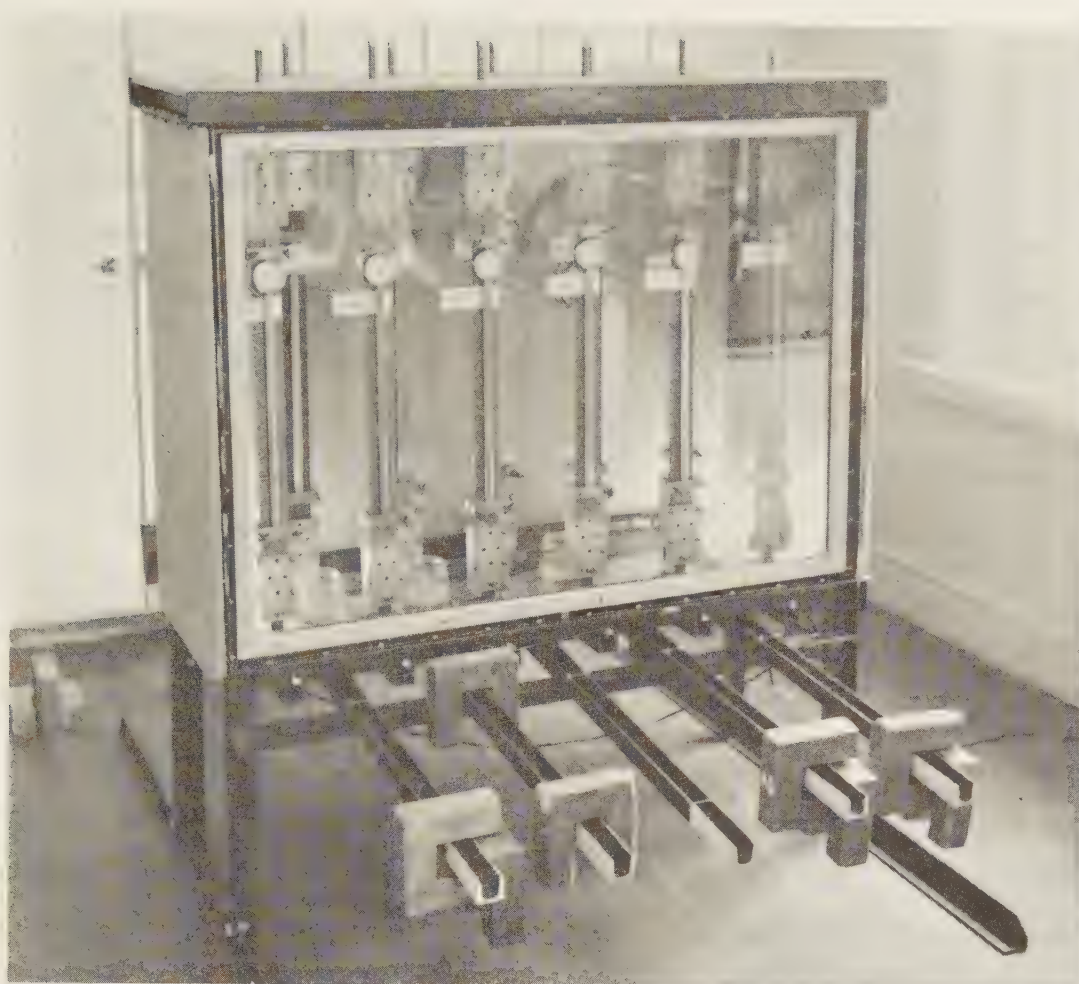
kalkylmetoder för board och spånskivor, när dessa material började provas i bärande element, balkar, hyllor etc. vid 1950-talets början. Man anade föga hur starkt belastningstiden inverkar på dessa materials hållfasthet och deformation. Missräkningar av alla slag blev följden!

Några förberedande undersökningar genomfördes emellertid snart och lämnade uppseendeväckande resultat / 38 39 /. Noggrannare och mer omfattande försök med långtidsbelastning har genomförts senare, men innan dessa redovisas och analyseras, finnes anledning att beskriva den apparatur som använts vid provningarna samt diskutera de speciella svårigheter som uppkommer vid långtidsprovning av hygroskopiska material.

Vid långtidsprovning av virke synes man vanligen ha använt belastningsformen böjprov (balkprov), vilken är särdeles olämplig eftersom den av flera skäl ej medger korrekt beräkning av faktiska brottpåkänningar. Spänningsfördelningen vid brott följer icke Naviers förutsättningar, och ej heller är den självklart likartad efter kort och lång belastningstid, varför jämförelsen spolieras. Klarare besked ger renodlad drag- och tryckprovning.

Vid prov med långtidslast är man ofta mer intresserad av deformationens utveckling än storleken av belastningstiden till brott. Noggrann mätning av rörelser hos provkroppar utsatta för normalkrafter, t. ex. dragna boardremsor, fordrar emellertid, att inverkan av fuktrörelser elimineras. Kraven på fuktjämvikt är utomordentligt stora och medför betydande komplikationer, som man däremot nästan helt slipper ifrån vid böjprovning. Där behövs endast en grov klimatreglering ty smärre längdförändringar hos balkarna inverkar obetydligt på nedböjningen. Dessvärre är tydligen många böjprov på virke genomförda utan någon som helst klimatkontroll, varför man icke ens kan utläsa den ungefärliga fuktnivån.

Nästan vid samtliga långtidsprov utförda vid laboratoriet har provkropparna först grov-konditionerats i klimatrum, varefter noggrannare fuktjämvikt inväntats och belastning genomförts i specialbyggda klimatskåp, se figur 80. I dessa regleras luftfuktigheten med saltlösningar. I varje skåp finnes två fläktar,



Figur 80 Klimatskåp för långtidsbelastning.

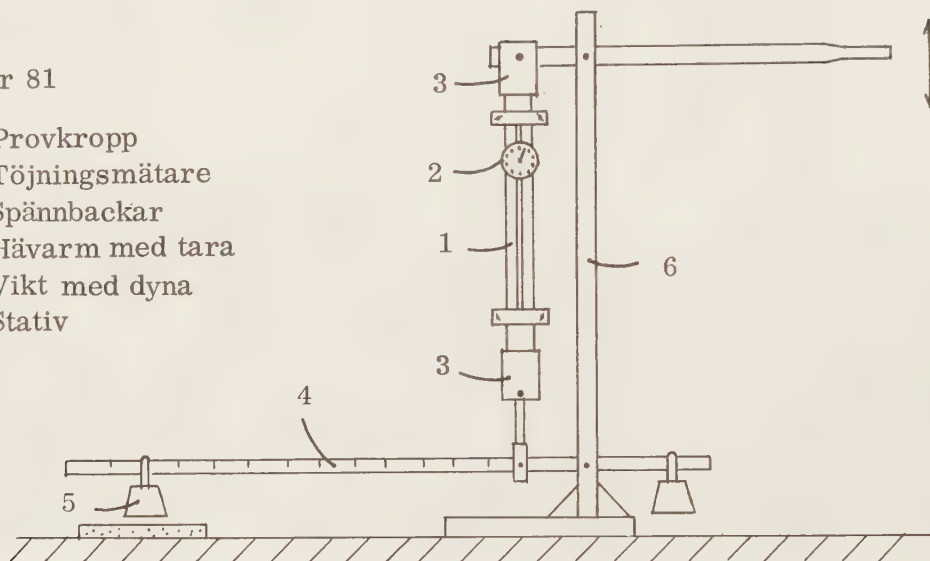
som blåser över saltskålarna, ger en allmän luftcirkulation i skåpen och utnyttjas för psykrometer-kontroll av r.f. Tack vare skåpens placering i fönsterlösa klimatrum i källarvåning har temperatur och luftfuktighet kunnat hållas inom $\pm 1^{\circ}\text{C}$ resp. $\pm 1\%$ r.f. och t.o.m. ännu exaktare under långa perioder. Störningar har naturligtvis förekommit i samband med strömavbrott, insättning av nya provkroppar o.dyl., men haft så kort varaktighet, att ordinarie fuktjämvikt snart återvunnits. Skåpen har normalt kontrollerats och avlästs var eller varannan dag, varför iakttagna små svängningar i klimat och därav förorsakade rörelser kunnat utjämnas kalkylmässigt.

Pålastning har skett genom att med skruv och mutter höja den övre spännbacken tills de nedtill kopplade, viktbelastade hävarmarna lyfts från sitt viloläge.

Vid kortvariga belastningar, då små förändringar i r.f. ej hinner inverka, är det enklare att använda fristående anordningar med hävarmar enligt figur 81. Den nedre hävarmen har en flyttbar vikt, som vilar på en tjock dyna av skumgummi. Belastning påföres genom att den övre spännbacken manuellt lyftes med sin låsbara hävarm. En snabb men stötfri pålastning kan därmed åstadkommas.

Figur 81

1. Provkropp
2. Töjningsmätare
3. Spännbackar
4. Hävarm med tara
5. Vikt med dyna
6. Stativ

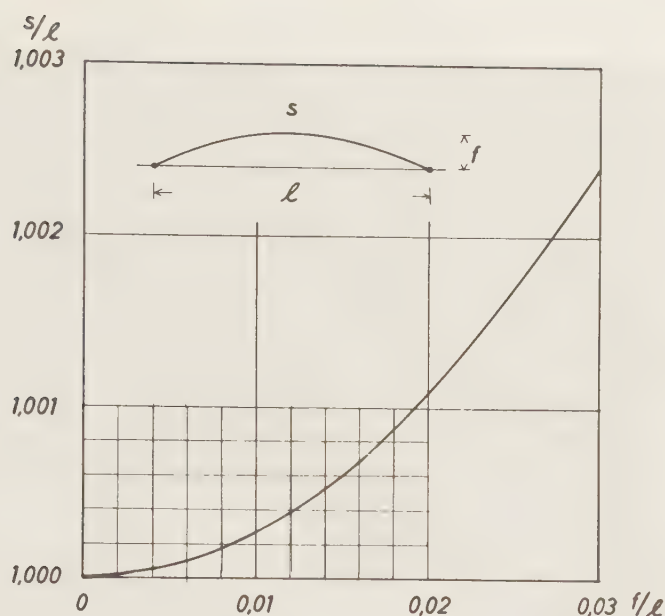


Längdförändringar hos långa provkroppar kan tillräckligt noggrant avläsas på mätur monterade för 50 eller 100 cm mätlängd. Med 50 cm mätlängd ger avläsning på 0,01 mm en noggrannhet av 0,002 % längdändring. Detta motsvarar t.ex. fuktrörelserna vid 0,5 % r.f.-förändring.

Uren måste vara helt rostfria för att tåla hög luftfuktighet samt hållas i trim för att ej låsa sig efter några månader.

En stor svårighet är att eliminera inverkan av vissa provkroppars tendens till välvning vid någon fuktighet. Även små avvikelser från planhet har betydelse, vilket framgår av figur 82. En pilhöjd av 0,5 cm på 50 cm mätlängd, alltså $f/l = 0,01$, ger $s/l = 1,00025$, d.v.s. 0,025 % längdfel, vilket är 10 ggr sämre noggrannhet än mätur och klimathållning medger. När belastning väl har anbringats, utgör välvningen inget problem ty redan en liten dragkraft håller de flesta remsor plana.

Figur 82

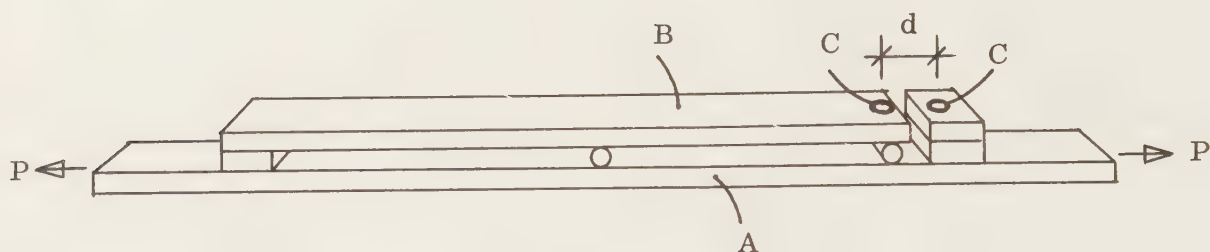


Flera olika metoder har använts för att kompensera välvning. Provkropparna kan klämmas mellan gejder. Vid efterföljande dragbelastning uppstår visserligen en friktion, men denna upphör, när remsan drages rak. Alternativt kan man först pålägga t. ex. $1/10$ av den avsedda lasten, avläsa töjningsmätarna, öka till full last och därefter kalkylera total-deformationen som $10/9$ av den avlästa rörelsen. Metoden förutsätter, att den första lasten är låg och ej hinner medföra nämnvärd krypning. Ett bra sätt är annars att arbeta med dubbla provkroppar ihopklämda med de från början konvexa sidorna mot varandra.

En variant av sistnämnda metod möjliggör töjningsmätning även vid bristfälligt reglering av luftfuktigheten. Provkroppen utformas då som figur 83 visar, d. v. s. består av två spegelvända remsor, varav endast den ena, A, upptager dragkraften, medan den andra, B, dels motverkar välvningen, dels utgör en 'mätstav' som automatiskt korrigerar för klimatväxlingar. Den mekaniska töjningen avläses som förändringar i måttet "d", som ev. kan mätas med en instick-mikrometer mellan rörhylsor C.

Man kan icke utan vidare utgå ifrån att fuktrörelserna är exakt desamma för belastade och obelastade prover, men att döma av utförda jämförelser är skillnaden helt obetydlig om fuktvariationerna är så små som några % r. f. Om man befarar, att provkroppar ej nått fuktjämvikt vid belastning, kan någon obelastad remsa

konditionerad på samma sätt hängas in i klimatskåpet och tjäna som ständig kontroll av ev. fuktrörelser.



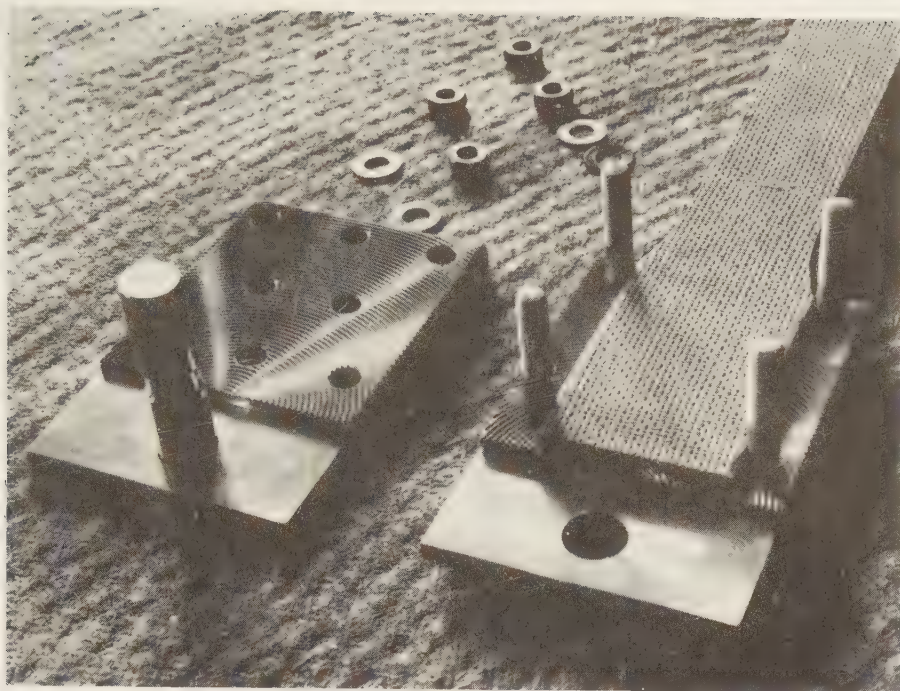
Figur 83 Provkropp för töjningsmätning.

I detta sammanhang bör för ordningens skull sägas, att all töjningsmätning utföres direkt på provkropparna, aldrig mellan spännbackarna, som kan glida något.

För att bekvämt och säkert kunna centrera provkroppar i spännbackarna har dessa försetts med klämbultar så placerade, att de ger sido-styrning åt 50 mm breda provstavar, se figur 84. En svarvad tapp med midja ger centrering i den andra riktningen och verkar samtidigt som led för backens rörelser visavi spännanordningarna. Bultarna närmast leden brukar åtdragas hårdare än övriga, vilket minskar risken för att provkroppar brister vid backens kant. Icke ens vid 500 kp belastning har mer än fyra bultar behövt användas, se figur 80. Hål genom remsorna har sålunda aldrig förekommit.

Icke vid något enda av laboratoriets många prov med långtidsbelastning av virke, plywood, spånskivor eller board har deformationens successiva, tidsberoende ökning avstannat. Inget tröskelvärde för krypning har upptäckts vare sig i form av minimal påkänning eller fuktighet. Rörelserna har ibland varit långsamma, men de har fortgått fullt mätbart och utan märkbar tendens att närma sig någon asymptot.

En ständigt pågående krypning leder ofelbart till brott förr eller senare. Men varken deformationens eller deformationsarbetets storlek fram till brott är konstant



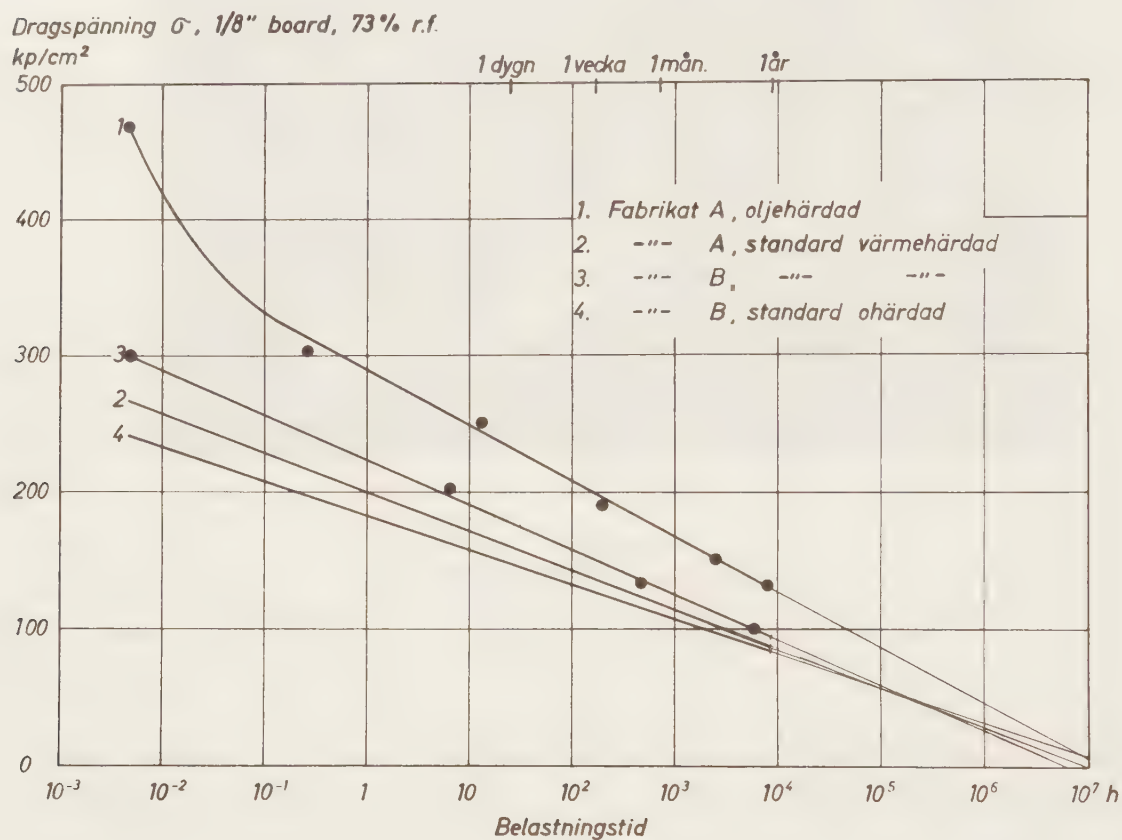
Figur 84

för olika lastnivåer. Något samband mellan brottdeformation och brottlast måste ändå finnas. Denna fråga och närliggande problem skall här nedan studeras i det primära, rationella syftet att finna tillämpbara samband mellan korta och långa belastningstider vad gäller hållfasthet och deformation. Som underlag för sådan analys presenteras först ett urval av de mätvärden som framkommit vid laboratoriet under åren 1954 - 1967.

LÅNGTIDSHÅLLFASTHET

De första försöken med långtidsbelastning av hård och oljehärdad 1/8" board genomfördes vid 73 % r.f., som bedömdes täcka de klimatförhållanden som förekommer kring de flesta bärande konstruktioner i byggnader. Resultaten har utförligt redovisats tidigare / 38 39 /, varför endast ett av diagrammen skall återgivas

här, figur 85. (Dessutom begagnas tillfället till en rättelse : Vid tryckning av publikation 39 har klichéerna av deformationskurvor för hård och oljehärdad board, Bild 4 och Bild 5, förväxlats.)



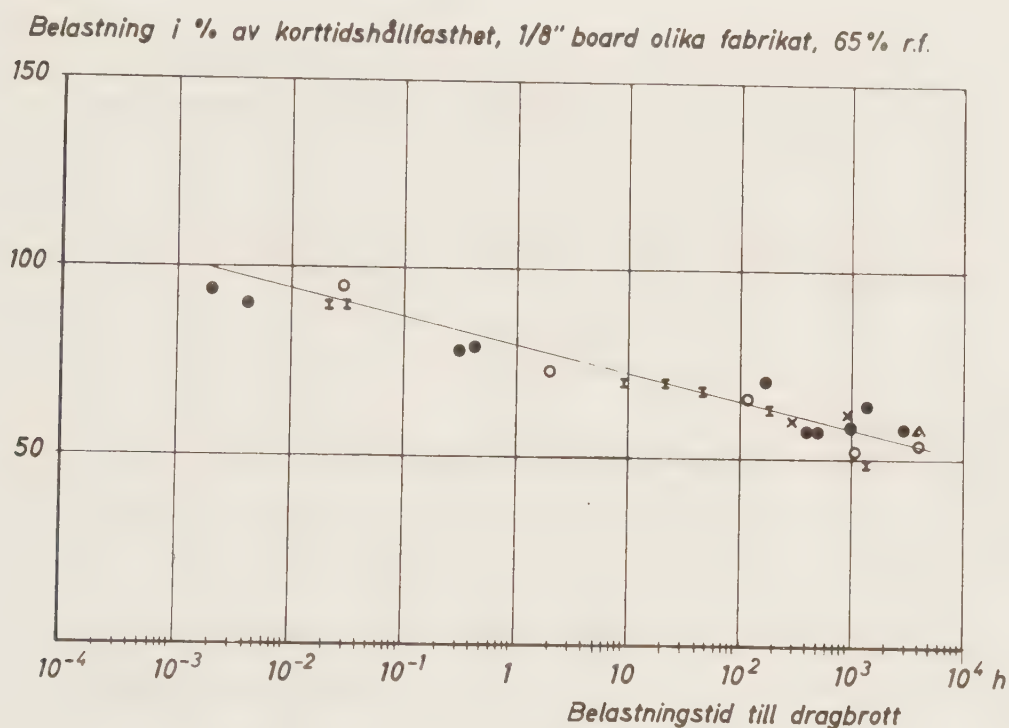
Figur 85

Kurvorna i figur 85 är baserade på iakttagna brott under ett års belastningstid. Varje boardsort gav endast några få brott för tider över 100 h - desto fler under, dock ej markerade på diagrammet -, men långtidsvärdena låg alla i god anslutning till räta linjer dragna genom varje sorts korttidsvärden, som verifierats med ett flertal dragprov. Oljehärdad board, kurva nr 1, utgör delvis ett undantag. Den har extra hög hållfasthet vid mycket kortvarig belastning.

Det är frestande att rent spekulativt draga ut de räta linjerna tills de skär abscissan ungefär vid tiden 10^7 h, d.v.s. ca 1000 år, men en sådan extrapolering kan ej godtagas utan vidare. Däremot har provningen definitivt visat, att boardsorternas långtidshållfasthet är lägre än 9/16 av korttidshållfastheten,

d. v. s. den proportion man antagit för virke. Redan ett års belastning ger reduktion till $1/3$ för boarden.

Diagrammet i figur 86 redovisar en liknande hållfasthetsprovning utförd på $1/8''$ board av fyra moderna kvalitéer tillverkade 1966. Tidens inverkan har i detta fall varit mindre, nämligen reduktion till 50 % efter ett år, vilket beror på den lägre luftfuktigheten 65 %, och i någon mån på att boarden numera är bättre värmebehandlad än för ett tiotal år sedan.

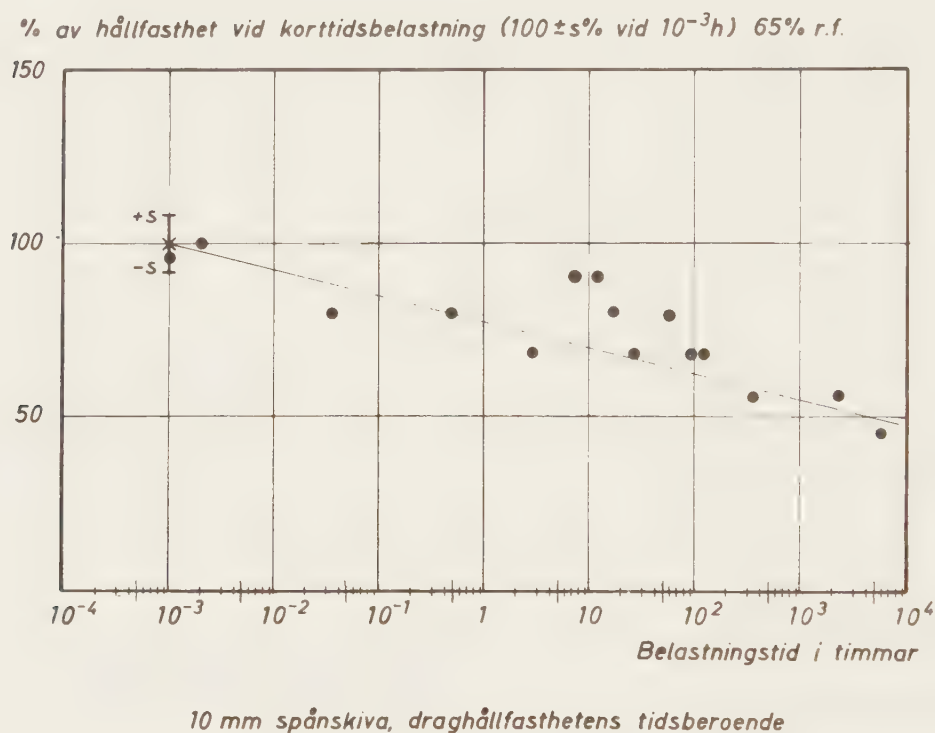


Figur 86

Emellertid visar figur 86 en märklig sak som genast skall påpekas trots att den egentligen tillhör ett senare avsnitt. Vid tiden 3530 h finnes ett brottvärde angivet med en triangel (Δ) på nivån 58 % av korttidsbrottlast. Provet har ej varit belastat kontinuerligt under nyssnämnda 3530 h utan har varje vecka stått avlastat ett dygn och belastat övriga sex. Tillhoppa har lastperioderna givit ovan nämnda brott-tid, som passar in bra i mönstret för kontinuerligt lastbärande prover

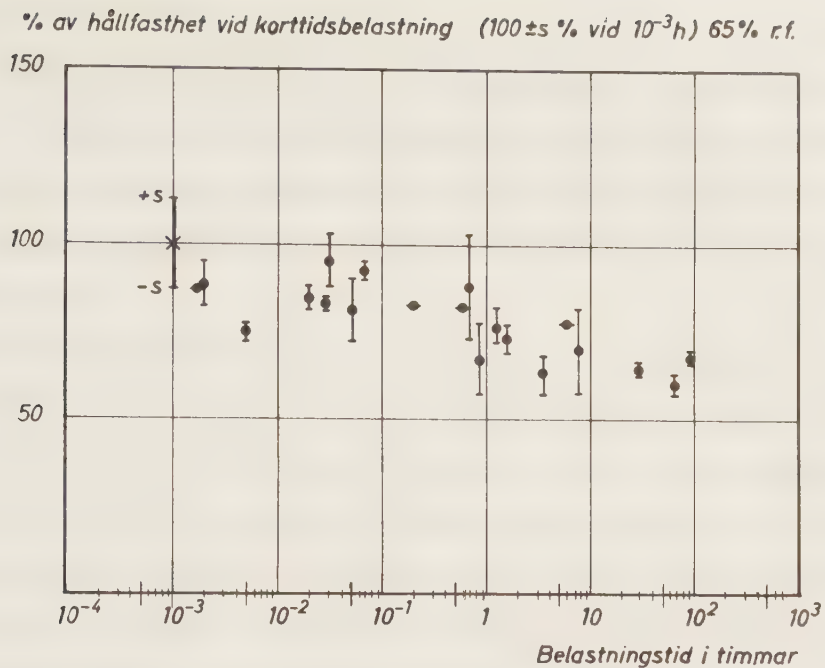
av samma slag, vilka i diagrammet betecknats med fyllda cirklar (●).

Spånskivor visar samma tidsberoende hållfasthet som board. Reduktionen vid 65 % sker kanske t.o.m. något snabbare, vilket framgår av figur 87. Provningensresultaten är å andra sidan mindre säkra p.gr. av större spridning, vilket kom fram även vid korttidsprovning. Orsaken är naturligtvis, att de enskilda spånens tjocklek är relativt stor i jämförelse med skivan som helhet, särskilt då denna endast är 10 mm som i detta fall. Ökad tjocklek bör verka utjämnande.



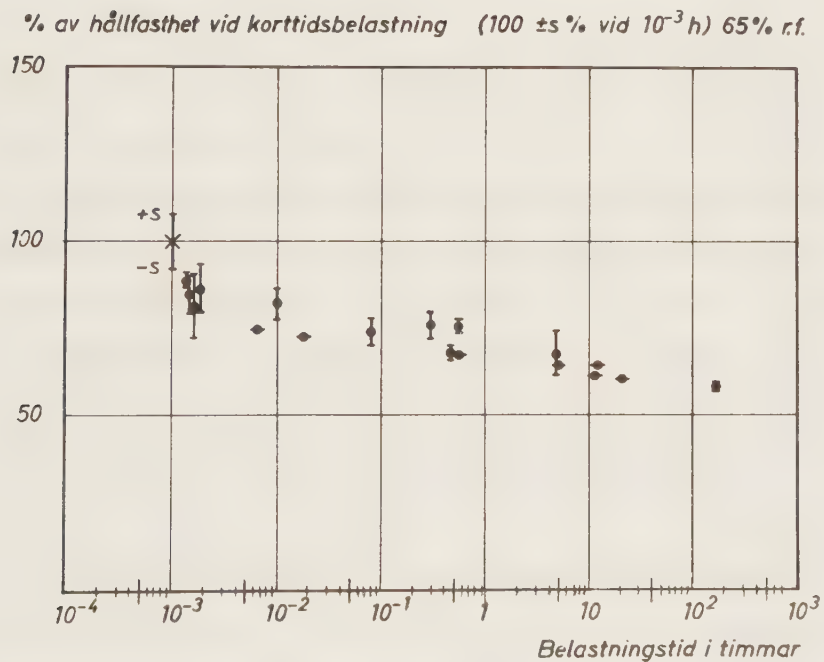
Figur 87

Det har tidigare framhållits, att draghållfastheten är baserad på skjuvhållfasthet mellan de enskilda träpartiklarna, samt att skjuv- och tvärdraghållfasthet i sin tur brukar uppvisa gott samband. Att deformations- och brottmekaniken är i princip densamma styrkes också av figurerna 88 och 89, vars diagram visar tvärdragbrott hos provkroppar av 1/4" hård board och 10 mm spånskiva utsatta för långtidslast.



1/4" hård board, tvärdraghållfasthetens tidsberoende

Figur 88



10 mm spånskiva, tvärdraghållfasthetens tidsberoende

Figur 89

Av vardera sorten har uttagits 42 provkroppar intill varandra ur en skivas centrala del. Varannan har dragits till brott med korttidslast, varannan med vilande belastningar. Storleken av dessa sistnämnda laster angives i diagrammet som % av de två intilliggande bitarnas korttidshållfasthet, varvid de fyllda ringarna (●) visar deras medeltal och de vertikala staplarna (I) spannet mellan dem.

P.gr. av tvärdraghållfasthetens relativt stora variationer erhålles icke samma klara bild av tidens inverkan om långtidsbrotten refereras till medelvärdet för alla korttidsproverna försåvitt det totala antalet provkroppar ej ökas radikalt. För tidsödande prov med låga långtidslaster bör man givetvis välja provkroppar, vars närliggande korttids-prover visat sinsemellan möjligast lika hållfasthet.

Båda diagrammen tyder på en 50 % reduktion av hållfastheten vid årslång belastning, d.v.s. som för dragprovning vid 65 % r.f. Att relativt höga långtidslaster medfört osystematiskt snabba brott torde bero på att lasten ej har kunnat påläggas lika vibrationsfritt med den enkla anordningen enl. figur 81 som i en motordriven apparat för korttidsprovning.

En provkropp utsatt för belastning under så lång tid, att den erfarenhetsmässigt snart kan väntas brista, är ett intressant studieobjekt, när man söker brottmekaniken vid långtidslast. Tidens inverkan skulle kunna vara den, att allt fler förband mellan träpartiklarna brister. Styrkan hos helheten sjunker i så fall successivt, och medför efter viss tid brott vid den applicerade lastnivån.

Om detta resonemang vore riktigt, borde tillfälliga lastökningar i form av skakningar e. dyl. föranleda brott hos provkroppar, vilka belastats under så lång tid, att brott kan väntas nära förestående. Dessutom borde en allmän nedsättning av hållfastheten kunna iakttagas hos sådana remsor om de avlastas och omedelbart därefter korttidsprovas i dragprovningssmaskin. Enligt ett exempel omnämnt ovan i samband med figur 86 tycks nämligen avlastning och viloperioder icke regenerera hållfasthet.

Emellertid överensstämmer icke detta betraktelsesätt med praktiska observationer. Under mer än tio års långtidsprovningar har det naturligtvis hänt flera gånger, att belastade provkroppar av misstag utsatts för t.o.m. ganska våldsamma

stötter, som medfört gungning i den viktbelastade hävarmen utan att medföra omedelbart brott eller märkbart sänkt livslängd hos provet. Dessa iakttagelser utgör icke ensamma något övertygande argument. Men direkta mätningar av 'resthållfastheten' hos provkroppar belastade under längre eller kortare tid med olika intensitet och korttidsprovade efter avlastning har heller ej påvisat någon styrkereduktion.

Figurerna 90 och 91 redovisar kvarvarande hållfasthet vid korttidsprovning av förut långtidsbelastade provkroppar av board och spånskiva. De från början 122 cm långa remsorna har antingen gått till brott eller avlastats, varefter de i båda fallen snabbt kapats upp i fem respektive sex mindre bitar som inom några minuter korttidsbelastats till nya dragbrott. Hänsyn har tagits till att ev. långtidsbrott redan utnyttjat svagaste snitt, varigenom en tämligen korrekt jämförelse kunnat göras med andra remsor, som utsågats enligt samma system som nyss beskrivits för tvärdragprovkroppar, och därefter direkt korttidsprovats.

Efter ca 100 h belastning med 50 % av korttidshållfasthet - detta är 1/100 av livslängden vid den påkänningen - har både board och spånskiva snarast ökat sin momentana styrka. Efter längre belastningstid, d.v.s. närmare ett normalt långtidsbrott, avtager 'rest-hållfastheten' något men tycks fortfarande ligga nära den helt obelastade provkroppens nivå, vilket är överraskande och av stort intresse både praktiskt och teoretiskt.

En konstruktion med board eller spånskivor i bärande funktion tål sålunda exceptionella laster, även om största delen av den normala livslängden redan är utnyttjad.

Ur teoretisk synvinkel är iakttagelsen endast en pusselbit, som måste kompletteras bl.a. med uppgifter om deformations-utvecklingen vid olika belastningsprogram. Men man vågar redan nu uppställa ett par hypoteser :

1. Vid belastning till måttlig nivå utsätts de enskilda träpartiklarna och förbanden mellan dem för påkänningar av olika storlek. I de mest utsatta punkterna inträffar ev. en del brott, men f.övr. sker där en avlastning genom kryp-deformation, varigenom mindre hårt belastade förband engageras. Denna anpassning

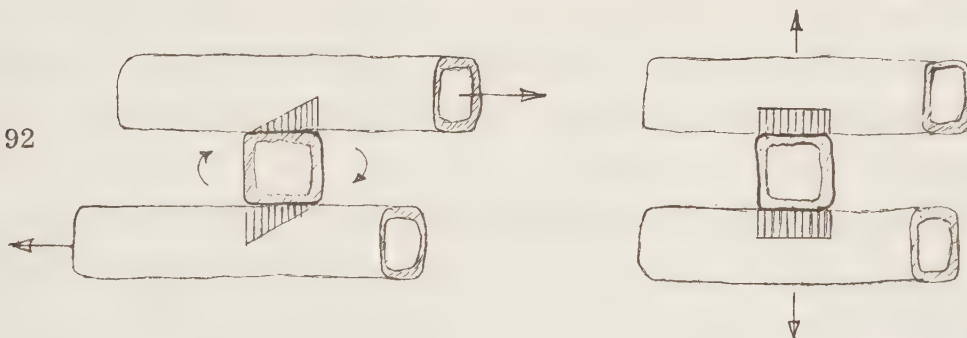
och begränsade spänningsfördelning utvecklas successivt och medför efter en tid att materialets styrka mot momentana laststegringar t.o.m. kan öka något.

2. De högst påkända länkarna kryper visköst fortare än övriga, avlastas eller bryter till slut och medger en förnyad spänningsomlagring, varvid övriga pålastas och i sin tur aktiverar nya kraftkedjor. Vartefter de styvaste, 'rakaste', kedjorna går förlorade, ökar deformationen. När systemet ej längre kan förnyas oavsett deformationens storlek, sker en allmän påkänningstegring, som snabbt utvecklas till totalt brott.

Filtningen mellan raka och böjda fibrer korsande varandra i alla tänkbara vinklar ger ett obegränsat antal lokala belastningsfall inom en träfiberskiva. Man kan emellertid tänka sig enkla modeller för att lättare förstå hur viskös formförändring hos den enskilda fibern kan förorsaka ett direkt brott.

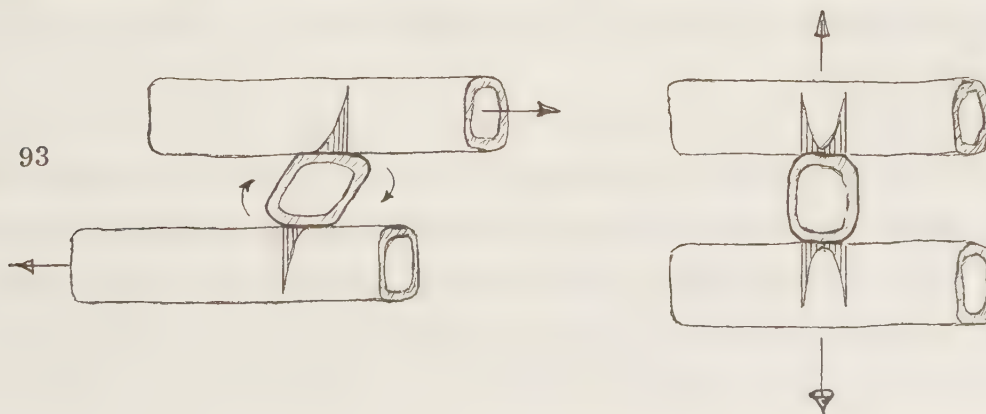
Vid en mycket kortvarig drag- eller tvärdragbelastning är den rörformiga träfibern formstyv, vilket ger följande schematiska spänningsfördelning :

Figur 92



Om lasten är varaktig, formförändras fiberröret successivt, vilket medför vandrande spänningskoncentrationer :

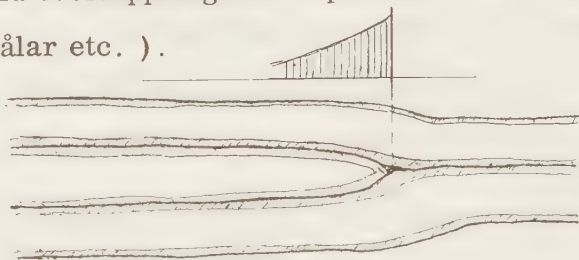
Figur 93



Ju lägre lasten är, desto saktare deformeras fibern och vandrar spänningsfronten. Till sist är den möjliga distansen slut, och brott inträffar.

I massivt virke är fibrerna i huvudsak parallella, vilket ger stor kontaktyta och utmärkta möjligheter till överföring av skjuvkrafter vid dragbelastning i fiberriktningen. Ändå är draghållfastheten tidsberoende, vilket möjligen skulle bero på spänningskoncentrationer vid överlappningens ändpunkter eller oregelbundenheter i strukturen (mörkstrålar etc.).

Figur 94



Systematiska bestämningar av draghållfastheten vid långtidsbelastning har hittills bara utförts för ovan redovisade klimat, 73 och 65 % r.f. 20 °C. I samband med andra provningar inriktade på bestämning av krypning vid olika fuktighet har enstaka brott erhållits men knappast i tillräckligt antal för att ge besked om livslängden vid olika spänningsnivåer. Deformationsmätningarna har nämligen i de flesta fall skett vid låga påkänningar i syfte att klarlägga de deformationer som då uppkommer och som ofta är mer avgörande för praktisk dimensionering än hållfastheten.

Emellertid borde man av deformationskurvorna kunna sluta sig till den ungefärliga belastningstiden fram till brott. Detta är egentligen den enda framkomliga väg man har eftersom direkta livslängdsmätningar blir för tidskrävande och mätning av 'resthållfastheten' ej ger besked. Enbart en extrapolering av kurvorna över hållfasthetens tidsberoende, figurerna 85 och 86, skulle möjligen kunna accepteras om deformationskurvorna synes bekräfta trenden. Dessa frågor studeras i nästa avsnitt.

På ett speciellt område kan provning av långtidshållfasthet ge besked av omedelbart intresse. Det är spik- och skruvhållkraften hos de aktuella skivorna. Belastningen från diverse inredning, fönsterbänkar, hyllor, tavlor, älg huvuden och pendyler kan visserligen bli långvarig men ställer ändå aldrig samma villkor som för den bärande byggnadsstommen.

Ett stort antal försök har gjorts med långtidbelastning av infästningsdon av olika slag monterade i 1/8" hård board och 1/2" byggboard. I stort sett har resultaten blivit desamma som vid dragprovning, d.v.s. 50 % hållfasthetsreduktion efter ett år vid 65 % r.f. Sämre resultat har erhållits med sådana fästorgan av expanderande typ som klämmer sig fast i ett förborrat hål. S.k. rawl-nuts får t.ex. icke vara för korta utan måste bilda en ordentlig valk på skivans baksida. Relativt goda resultat har däremot erhållits med skarpt gängad skruv.

DEFORMATION UNDER LÅNGTIDSLAST

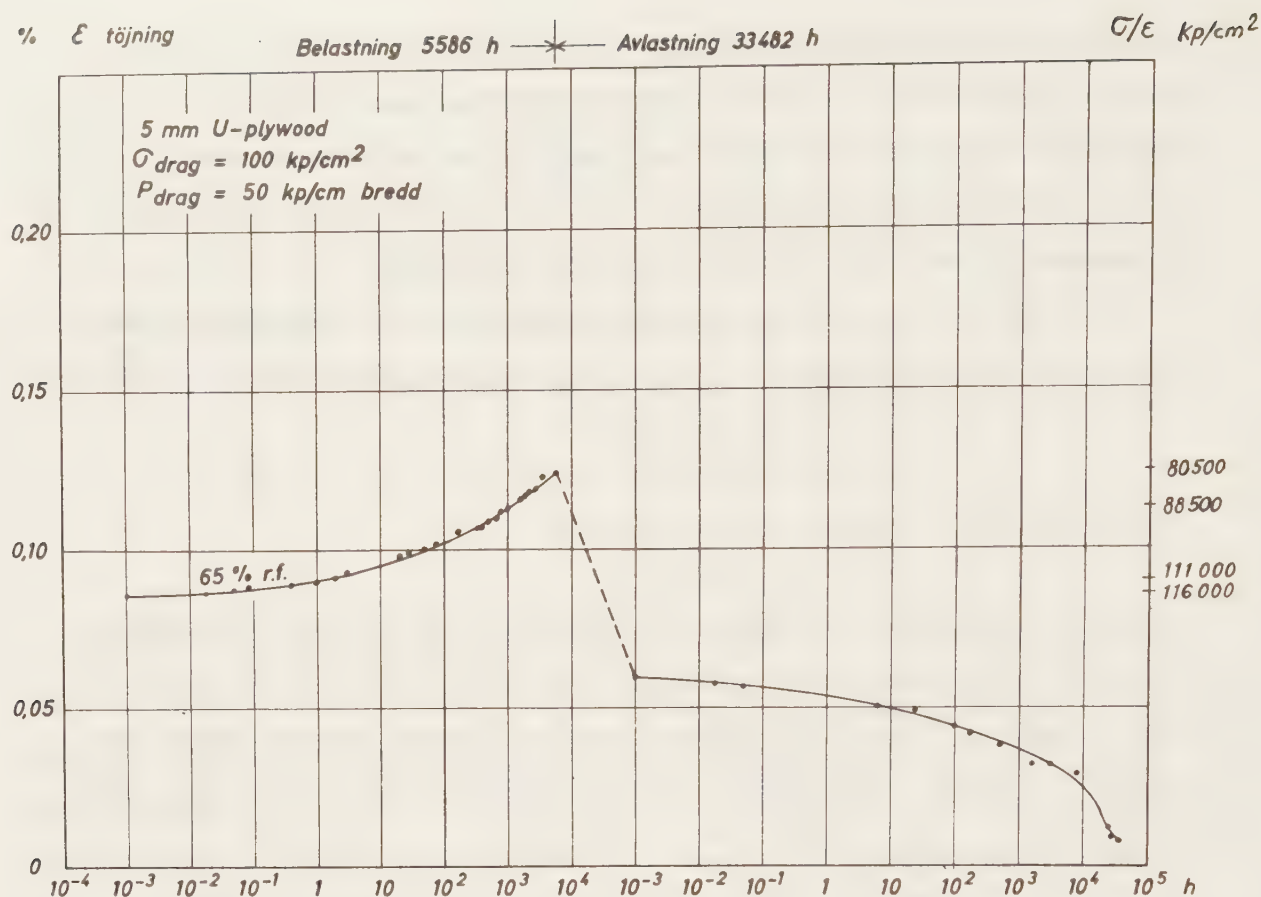
Förutom anvisningar om tillåtna påkänningar i virke vid kort- och långtidslast lämnar BABS besked om motsvarande E-moduler, som skall räknas vara 100 000 respektive 70 000 kp/cm² längs träets fiberriktning och 2 000 kp/cm² vid korttidslast i tvärled. Detta gäller furu- och granvirke med fuktkvot max. 20 %, vilket motsvarar ca 88 % r.f. *

Underlaget för bestämning av tillåtna långtidsvärden hos virke kanske ej förefallit helt övertygande, och B Norén / 28 / skiljer icke alls mellan kort- och långtidslast, när han föreslår tillåtna spänningar och moduler för plywood. Det kan därför vara skäl att se på några krypkurvor för plywood och virke.

Enligt figur 95 har en 5 cm bred remsa av 5 mm fenollimmad plywood haft en E-modul av 116 000 kp/cm² omedelbart vid pålastning, d.v.s. inom några sekunder. Efter en timme har E sjunkit till 111 000 kp/cm², efter 1 000 h till 88 500 och efter 5 600 h till 80 500 kp/cm². Sistnämnda värde är 69 % av det momentana och 73 % av 1 h-värdet. (I samtliga fall har E räknats som medelvärde för plywoodens hela area.)

Emellertid visar krypningen ingen som helst tendens att upphöra under belastningstiden. Om man tillåter sig att extrapolera kurvan en tiopotens, d.v.s. till en belastningstid av 6,5 år, blir E-modulerna väsentligt lägre, 69 000 eller 62 % av E_{1 h}. Går man upp ytterligare en tiopotens, blir E_{65 år} endast ca 51 % av E_{1 h}. Reduktionen vid långtidslast är sålunda redan vid 65 % r.f. avsevärt större än BABS' värden 100 000 → 70 000 kp/cm².

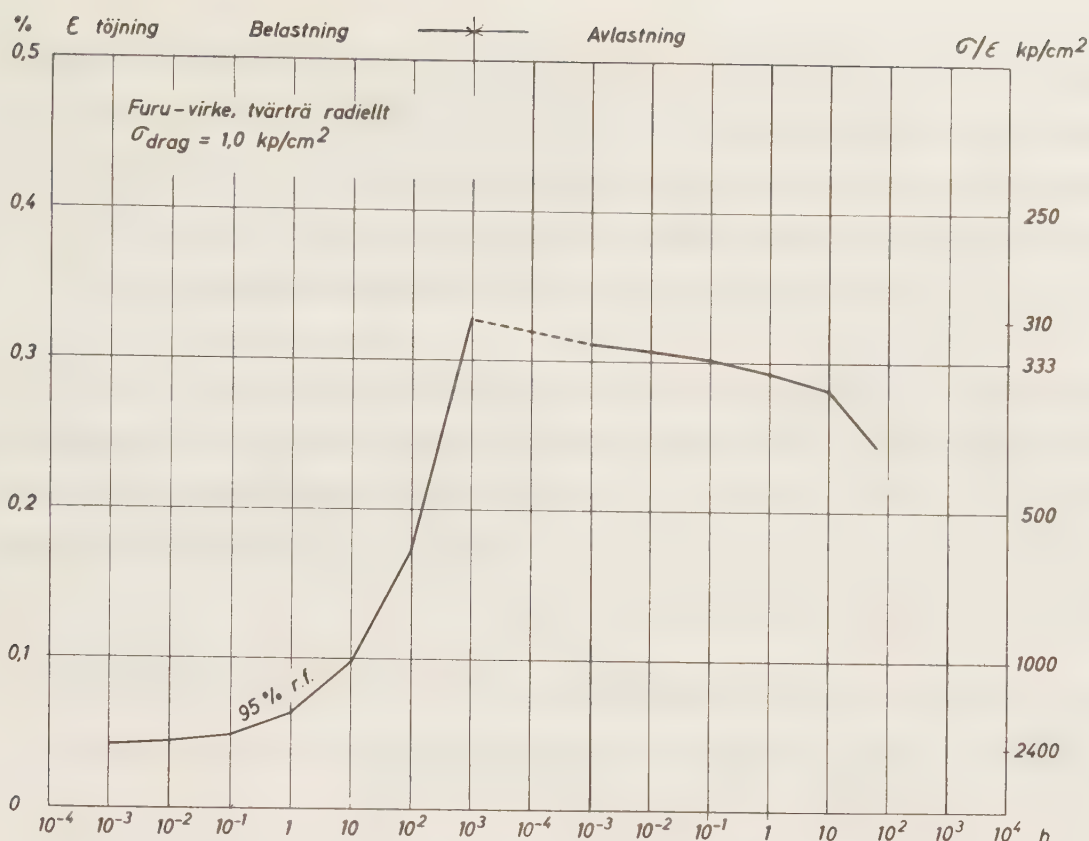
* Not : BABS 1967 har senare utgivits och anger E = 70 000 á 90 000 kp/cm² för olika virkeskvaliteter vid långtidslast, samt faktorn 1,1 för exceptionellt lastfall. Fuktkvoten har sänkts till 18 % motsv. 85 % r.f.



Figur 95

Dessa olikheter framföres som ett påpekande och ej som kritik. BABS' måttligare reduktion, som motsvarar intervallet $1 \rightarrow 10^4$ h, är praktiskt rimlig ty maximal last förekommer aldrig kontinuerligt under tiotals år. Observera emellertid detta betraktelsesätt, som i lika mån bör tillämpas i andra sammanhang och för andra material

P.gr. av fiberstrukturen har virke mycket låg E-modul i tvärriktningen, och krypningen under vilande last blir oerhörd, när fiberrörens tvärsnitt successivt deformeras. Härvid inverkar kraftriktning, ev. frodvuxenhet och fukthalt. Krypkurvan i figur 96 avser normalt vuxen sydsvensk fura belastad radiellt vid hög fuktighet, 95 % r.f. E-modulen är från början 2400 kp/cm^2 , passerar BABS' värde 2000 efter $0,1 \text{ h}$ och faller till ca 300 kp/cm^2 efter 1000 h belastningstid.



Figur 96

Det är icke korrekt att i dessa sammanhang kalla σ/ϵ för elasticitetsmodul, såsom skett i texten härövan, men eftersom beteckningen användes i BABS även i samband med långtidslast samt är invand vid deformationsberäkningar, har den med tvekan utnyttjats. En ursäkt får vara, att fullständig elastisk deformation aldrig förekommer i praktiken, icke ens vid korttidslast.

De två visade krypdiagrammen föranleder ett par principiella reflektioner :

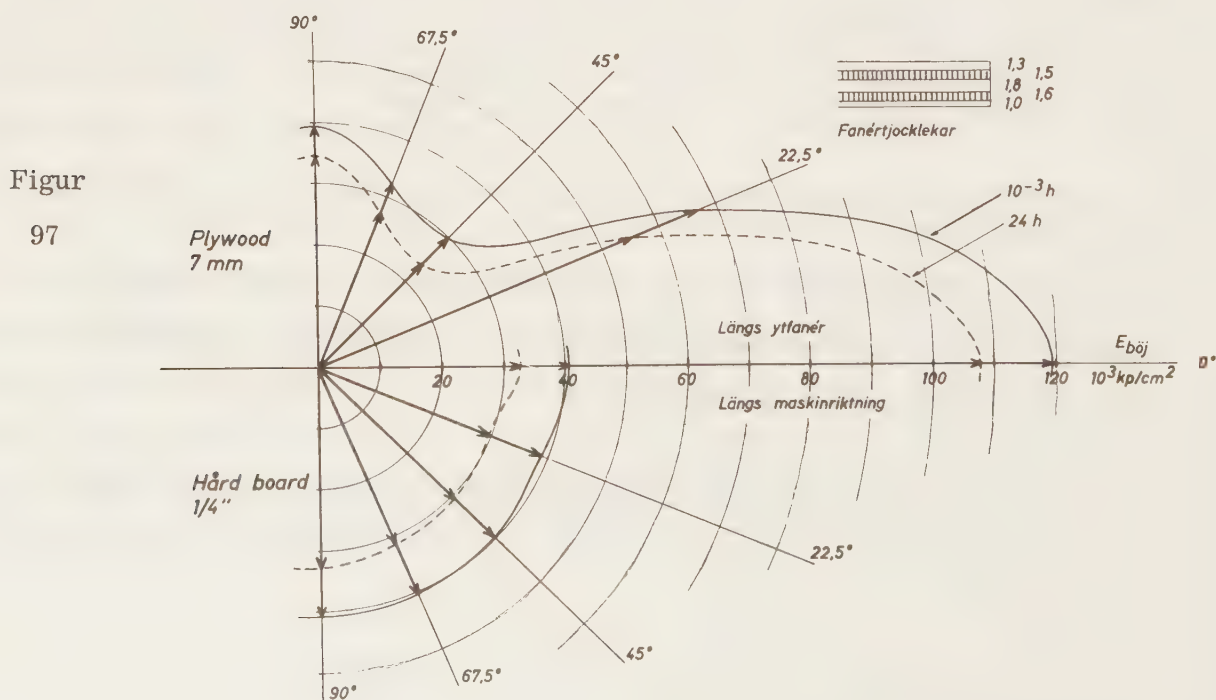
1. Krypningen tycks icke avstanna ens vid belastning i virkes fiberriktning. I så fall måste även hållfastheten fortsätta att avtaga, troligen långt under tidigare omnämnda 9/16 av korttidsbrottlast.
2. Vid belastning i vinkel mot fiberriktningen utvecklas krypning mycket snabbt och når värden som motsvarar helt andra långtidskoefficienter än de i BABS

anvisade för E och sannolikt även för σ_{till} . Detta bör inverka bl.a. på skjuvdeformationen hos balkar med liv av plywood om fanéren är orienterade i balkens huvudriktningar. Några reservationer för dylika långtidseffekter göres ej i ovannämnda publikationer, ej heller av G Larsson, som snarare bedömt plywood vara fri från krypning i jämförelse med träfiberskivor / 37 /.

Även punkt 2 må tagas mer som ett påpekande än en anmärkning. Syftet är endast att längre fram få en praktisk jämförelse mellan board och spånskivor å ena sidan och plywood å den andra. Av sistnämnda material har man redan långvarig och gynnsam erfarenhet i balkar m.fl. element trots att de dimensionerats utan medveten hänsyn till ovan påpekade krypning.

Innan redovisningen av långtidsdeformationer föres över till andra material, skall ytterligare några uppgifter om plywood lämnas för att belysa den enorma skillnaden i styvhet längs och tvärs virke

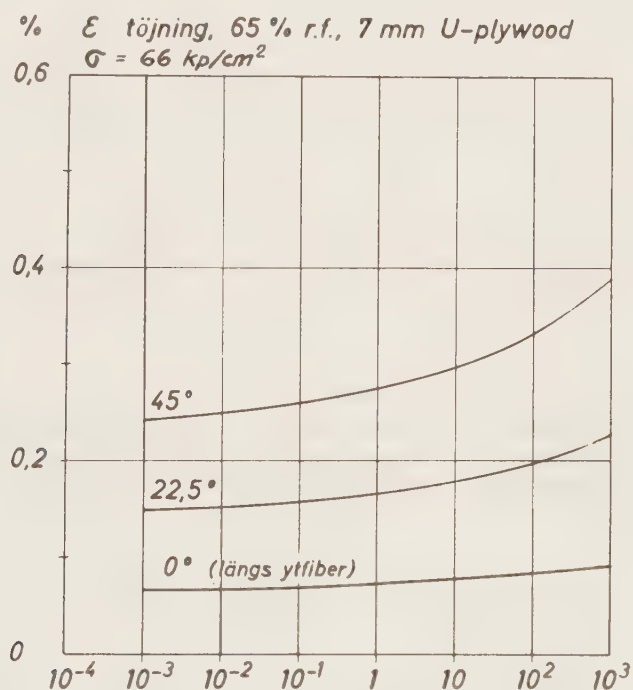
Ur 7 mm U-plywood och 1/4" hård board har uttagits provkroppar i olika riktningar, varefter $E_{\text{böj}}$ bestämts vid 65 % r.f. dels vid korttidslast, 10^{-3} h, dels efter 24 h. Resultaten redovisas i ett polärt diagram, figur 97. Böjstyvheten är mycket låg i plywoods 45° -riktning, vilket bl.a. befrämjar skevhet. Den utpräglade anisotropien beaktas icke t.ex. vid beräkning av buckling hos balkliv.



Ett motsvarande försök har utförts med dragprovning av långa remsor uttagna ur samma sorts plywood, figur 98. Även i detta fall är skillnaden i styvhet stor redan vid pålastning och ökar successivt under vilande last. Om fuktigheten varit högre, borde differensen ha blivit ännu mycket mer påtaglig redan inom den redovisade belastningstiden.

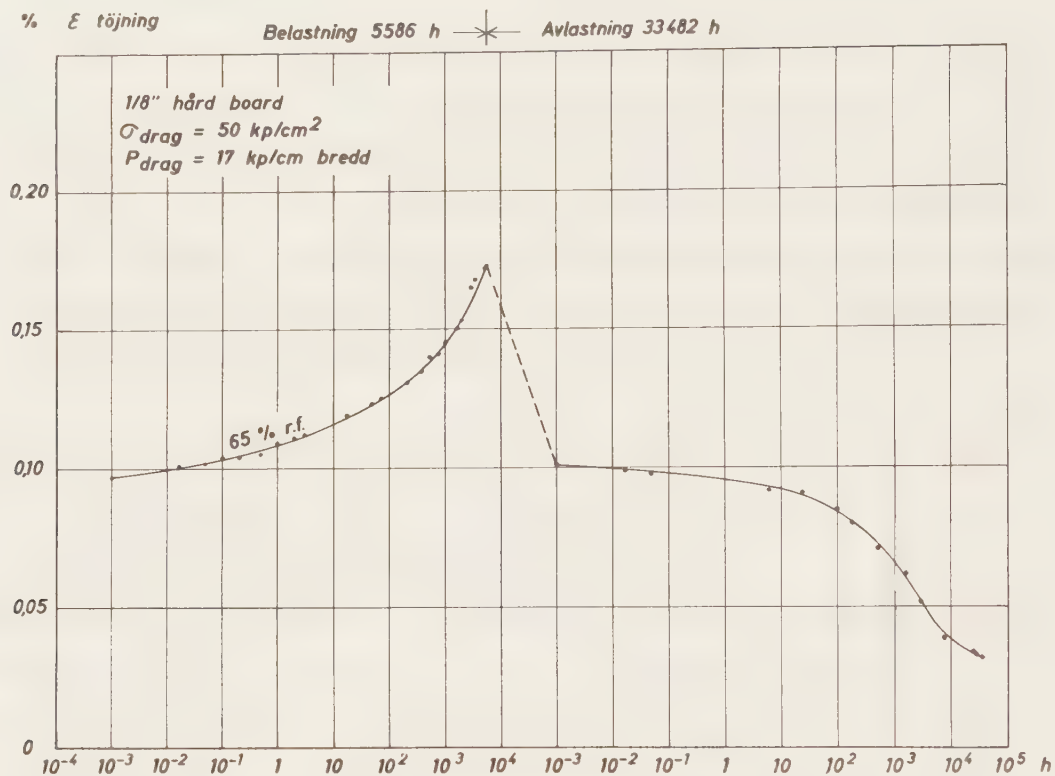
Kurvan för dragning parallellt med ytfanérens fiberriktning visar, att deformationen ökat ca 35 % under de första 1000 timmarnas belastning, vilket stämmer ganska bra med figur 95, där ökningen varit 31 %. För remsa uttagen i $22,5^\circ$ vinkel mot ytfiberriktningen har motsvarande deformationsökning varit ca 52 %. Kurvan för 45° -riktningen visar nästan 60 % ökning, och detta bör motsvara krypning vid panelskjuvning av plywood, när skjuvspänningarna är parallella med fanérens fiberriktningar, t.ex. i balkliv.

Figur 98



Till direkt jämförelse med nyssnämnda kurva för 45° -riktning visas i figur 99 krypning hos 1/8" hård Masonite från 1959. Dess deformationsökning har varit 50 % under 1000 h, d.v.s. något mindre än för plywood snedskuren i båda ovan nämnda vinklar men mer än för plywood längs fiberriktningen. Om man kunde tillverka board av flera kryssvis lagda ihopguskade tunna fiberark, vart och ett med en

helt dominerande fiberriktning (såsom i papperssnören), skulle man med all sannolikhet få skivor med egenskaper påminnande om plywood : Stor styrka och styvhet i huvudriktningarna, även vid långtidslast, samt små fuktrörelser i planet.



Figur 99

För mer systematiska jämförelser mellan krypningen hos olika material skulle behövas ett matematiskt uttryck för kurvornas form, d.v.s. deformationens tidsberoende

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{\text{kryp}}$$

$$\text{eller} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \psi) \quad \text{där} \quad \psi = \frac{\varepsilon_{\text{kryp}}}{\varepsilon_0}$$

Det gäller alltså att finna ett uttryck för ψ . Krypkurvor brukar motsvara någon exponentialfunktion, och tiden räknas lämpligen logaritmiskt (med ε_0 för $t = 10^{-3} h$), varför skrives

$$\psi = \alpha \frac{e^{\frac{z}{3} m}}{e^m} \quad \text{där} \quad z = \log \frac{t}{t_0}$$

$$\text{Med } e^m = k \text{ erhålles} \quad \psi = \alpha \frac{k^z}{k^3}$$

vari α och k får bestämmas empiriskt ur iakttagna deformationer.

I det följande skall α och k bestämmas för ett flertal material vid varierande fuktförhållanden och olika påkänningar, men det kan vara lämpligt att börja med ett enkelt exempel och i detalj visa arbetsgången. Belastningskurvan i figur 99 väljes.

Den observerade deformationen har efter olika lång belastningstid varit $\epsilon = \epsilon_0 (1 + \varphi)$:

Tid h	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3
ϵ (%)	0,097	0,100	0,103	0,108	0,116	0,126	0,145
$\epsilon : \epsilon_0$	1	1,03	1,06	1,11	1,20	1,30	1,49
φ	0	0,03	0,06	0,11	0,20	0,30	0,49
							$\sum \varphi = 1,19$

Härav uträknas $k = (\sum \varphi - \varphi_{10^{-2}}) : (\sum \varphi - \varphi_{10^3}) = 1,16 : 0,70 = 1,66$

$z = \log \frac{t}{t_0}$	1	2	3	4	5	6	
$\varphi_z : \varphi_{z-1}$	2,0	1,84	1,82	1,50	1,63		
$k^z : k^3 = \mu$	0,36	0,60	1,00	1,66	2,75	4,56	$\sum \mu = 10,93$
$\varphi : \mu$	0,083	0,100	0,110	0,120	0,109	0,107	

Enligt $\varphi = \alpha \frac{k^z}{k^3}$ uträknas $\alpha = \frac{\sum \varphi}{\sum \mu} = \frac{1,19}{10,93} = 0,109$

Med $k = 1,66$ och $\alpha = 0,109$ uträknas φ efter olika tid :

$z = 1$	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66^{-2} = 0,040$	φ_{obs}	0,03
2	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66^{-1} = 0,066$		0,06
3	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66^0 = 0,109$		0,11
4	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66 = 0,181$		0,20
5	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66^2 = 0,299$		0,30
6	$\varphi = 0,109 \cdot 1,66^3 = 0,496$		0,49
6,747	$\varphi = 0,109 \cdot 6,68 = 0,729$		0,76

Ekvationen för belastningskurvan i figur 99 (1/8" Masonite, 65 % r.f.) skulle alltså bli

$$\xi = \xi_o (1 + \alpha \frac{k^z}{k^3}) \quad \text{f\"or } t > 10^{-3} h$$

eller
$$\xi = \xi_o (1 + 0,109 \frac{1,66^z}{1,66^3})$$

där
$$z = \log \frac{t}{t_o}$$

Vid den aktuella dragpåkänningen $\sigma = 50 \text{ kp/cm}^2$ kan insättas $\xi_o = 0,097 \%$.

I något förkortad form skall motsvarande beräkning göras för plywood enligt figur 95 :

h	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	
ξ	0,086	0,087	0,088	0,090	0,095	0,102	0,113	
φ	0	0,01	0,02	0,05	0,10	0,19	0,31	$\sum \varphi = 0,68$

$k = 0,67 : 0,37 = 1,81$

z		1	2	3	4	5	6	
$\varphi_z : \varphi_{z-1}$		2,0	2,50	2,00	1,90	1,63		
μ		0,30	0,55	1,00	1,81	3,28	5,93	$\sum \mu = 12,87$
$\varphi : \mu$		0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	

$$\alpha = \frac{\sum \varphi}{\sum \mu} = \frac{0,68}{12,87} = 0,053$$

z = 1	$\varphi = 0,053 \cdot 1,81^{-2}$	= 0,02	φ_{obs}	0,01
2	$\cdot 1,81^{-1}$	= 0,03		0,02
3	$\cdot 1,81^0$	= 0,05		0,05
4	$\cdot 1,81$	= 0,10		0,10
5	$\cdot 1,81^2$	= 0,17		0,19
6	$\cdot 1,81^3$	= 0,31		0,31
6,747	$\cdot 9,26$	= 0,49		0,44

Ekvationen för 5 mm U-plywood i 65 % r.f. enligt figur 95 blir sålunda

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 + 0,53 \frac{1,81^Z}{1,81^3} \right) ;$$

För $\sigma = 100 \text{ kp/cm}^2$ kan insättas $\varepsilon_0 = 0,086$.

Framräknade teoretiska värden stämmer bra med observerade inom det intervall $10^{-3} - 10^3 \text{ h}$ som använts som bas. Räknas vidare fram till $10^{3,747} \text{ h}$, det sista observerade värdet vid 5586 h, erhålles 4 % för lågt φ för board och 11 % för högt för plywood. Av den totala deformationen utgör felen 2 % respektive 3,5 %.

Även för 7 mm U-plywood belastad i olika riktningar enl. figur 98 samt virke i tvärlägen enligt figur 96 har värden för α och k framräknats. Tabellen nedan sammanfattar icke avrundade koefficienter för hittills visade krypkurvor.

Material	Fig nr	R.f. %	α	k	$\sigma \text{ kp/cm}^2 \cdot \varepsilon_0 \%$	
1/8" Masonite 1959	99	65	0,109	1,66	50	0,097
5 mm U-plywood 1959	95	65	0,053	1,81	100	0,086
7 mm U-plywood 1964						
0° = längsriktning	98	65	0,087	1,61	66	0,067
22,5°	98	65	0,100	1,68	66	0,150
45°	98	65	0,129	1,68	66	0,243
Furuvirke radiellt	96	95	0,556	2,31	1	0,042

Man kan tänka sig andra empiriska ekvationer, som ger acceptabel överensstämmelse med iakttagna krypkurvor. Inom plasttekniken användes t.ex. $\varepsilon = \varepsilon_0 + m t^n$, vari m och n är empiriska konstanter, m beroende av spänningen och n oberoende. Efter logaritmering erhålles $\log (\varepsilon - \varepsilon_0) = \log m + n \log t$, som lätt återgives grafiskt på dubbellogaritmiskt diagrampapper. Vid val mellan olika ekvationer bör hanterbarhet eftersträvas lika mycket som god överensstämmelse.

Hittills framräknade värden har varit baserade på provbelastning av enstaka remsor med 500 mm mätlängd. För att få fram säkrare koefficienter samt studera inverkan av olika påkänningar och fuktigheter genomfördes 1959 några belastningsserier på 1/8" hård Masonite och defibratorboard av god kvalitet vid 32 65 och 90 % r.f.

Vid provningarna eftersträvades dragpåkänningar av 25 50 75 100 etc. kp/cm². Exakt dessa värden kunde icke enkelt ordnas, varför avvikelser med max 15 % senare korrigerats genom interpolering. Av detta skäl har icke några direkt avlästa deformationer inprickats i de diagram, som skall redovisas i det följande. Korrigering har även utförts för smärre variationer i r.f.

Draghållfastheten vid korttidslast i 65 % r.f. har för båda kvalitéerna varit något över 250 kp/cm². Belastningar ned till hälften därav har medfört brott inom lasttiden ca 1 000 h, vilket i och för sig givit intressanta uppgifter om brottöjningens beroende av påkänningen, varom mer nedan. För studium av praktiskt intressant krypdeformation bör man däremot bortse från höga påkänningar och basera koefficienterna α och k på lägre spänningsnivå. Vid hög luftfuktighet kommer naturligtvis både brottpåkänning och praktiskt intressant nivå att ligga lägre, varför kurvskaror för skilda klimat icke bör behandlas helt likartat.

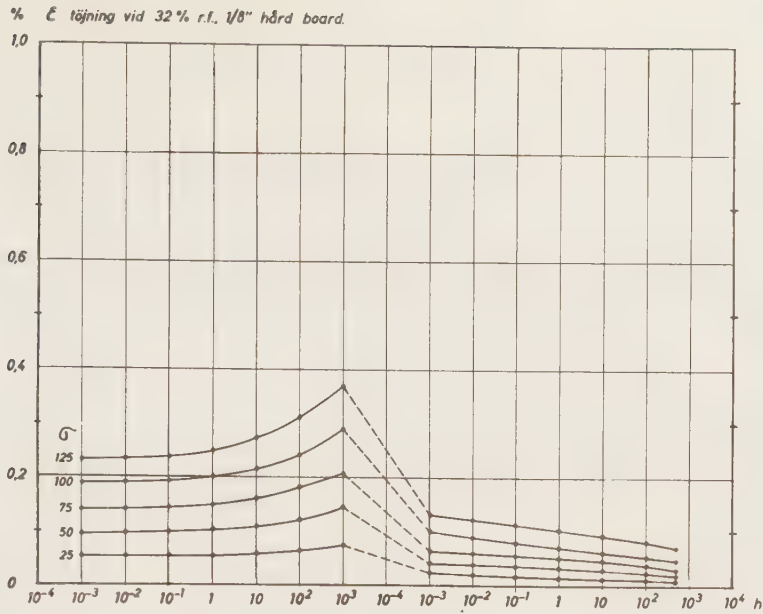
Figur 100 avser 1/8" hård Masonite och figur 101 1/8" hård defibratorboard, båda från 1959.

Beräkningsgången vid bestämning av α och k har i princip varit samma som tidigare visats, men eftersom kurvor för olika påkänning med fördel bearbetas samtidigt, visas i detalj ett exempel nedan, nämligen 1/8" Masonite vid 65 % r.f. Därav framgår hur ojämnheter i observerade deformationer utjämnas.

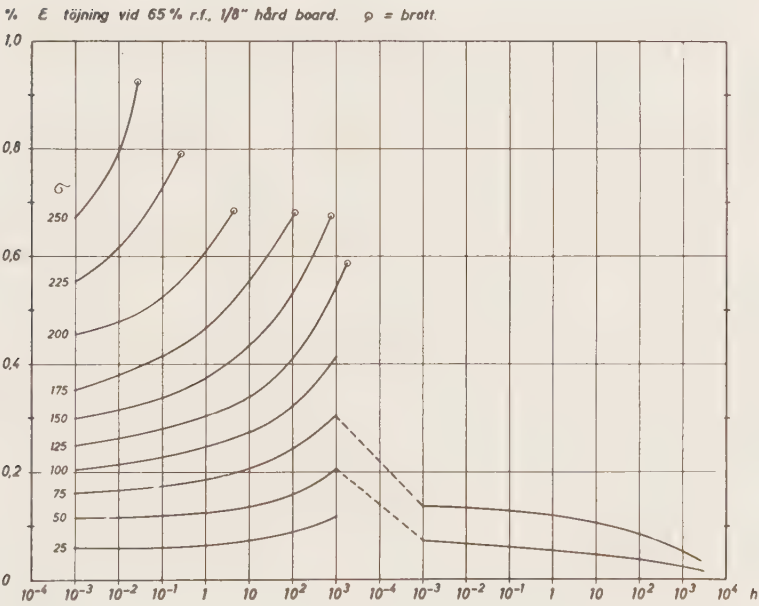
Figur 100

1/8" Masonite

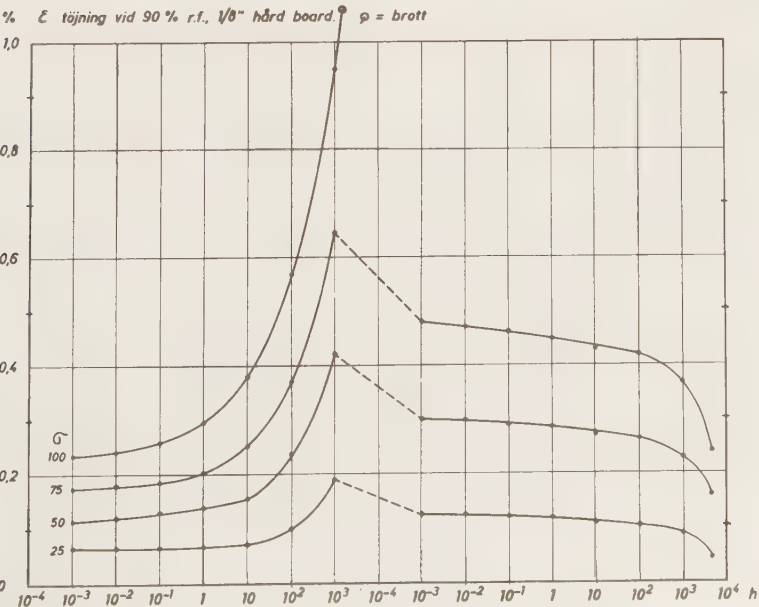
32 % r.f.



65 % r.f.



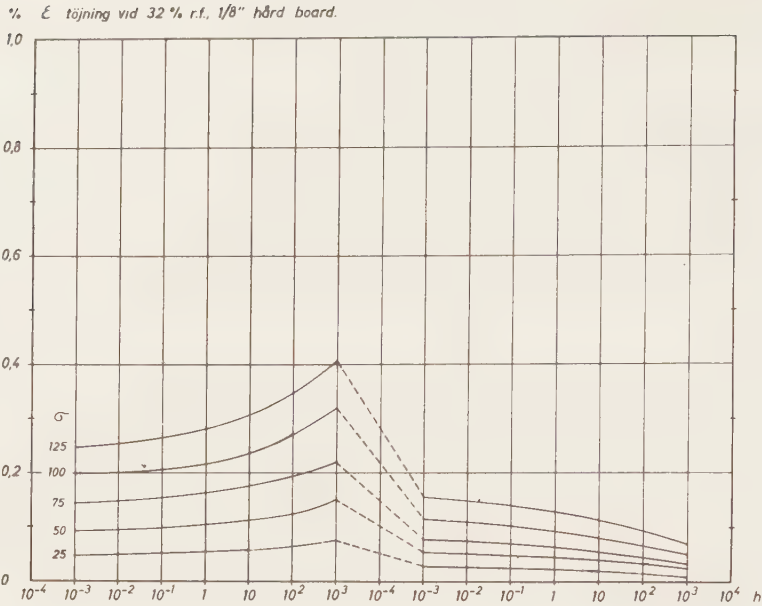
90 % r.f.



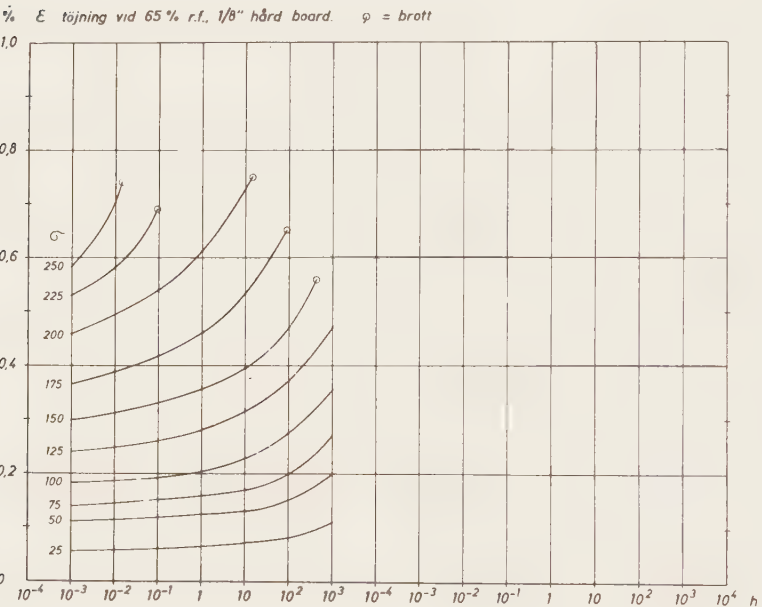
Figur 101

1/8" defibratorboard

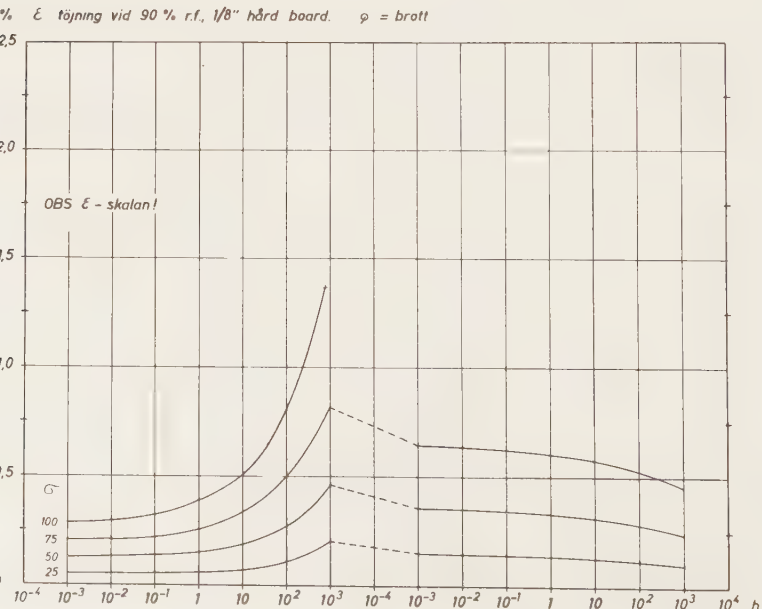
32 % r.f.



65 % r.f.



90 % r.f.



Tid h	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	$\sum \varepsilon$
σ	$\varepsilon_o \%$							
25	0,051	0,051	0,053	0,056	0,064	0,083	0,106	0,464
50	0,106	0,111	0,112	0,116	0,126	0,149	0,196	0,916
75	0,153	0,158	0,166	0,176	0,193	0,236	0,296	1,378
100	0,196	0,206	0,221	0,242	0,261	0,311	0,406	1,843
125	0,241	0,256	0,276	0,296	0,300	0,401	0,540	2,310
$\sum 375$	$\sum 0,747$	0,782	0,828	0,886	0,944	1,180	1,544	6,911

$\varepsilon : \varepsilon_o$	1	1,000	1,039	1,098	1,255	1,627	2,078	
	1	1,047	1,057	1,094	1,189	1,406	1,849	
	1	1,033	1,085	1,150	1,261	1,542	1,935	
	1	1,051	1,128	1,235	1,332	1,587	2,071	
	1	1,062	1,145	1,228	1,245	1,664	2,241	
Mv	1	1,039	1,091	1,161	1,256	1,565	2,035	
φ	0	0,039	0,091	0,161	0,256	0,565	1,035	$\sum \varphi = 2,147$

$k = 2,108 : 1,112 = 1,90$

z	1	2	3	4	5	6	
$\varphi_z : \varphi_{z-1}$		2,33	1,77	1,59	2,20	1,83	
$k^z : k^3 = \mu$	0,28	0,53	1,00	1,90	3,60	6,85	$\sum \mu = 14,16$
$\varphi : \mu$	0,139	0,172	0,161	0,135	0,157	0,151	

$\varpi = \sum \varphi : \sum \mu = 2,147 : 14,16 = 0,152$

Med $k = 1,90$ och $\varpi = 0,152$ uträknas φ :

z = 1	$\varphi = 0,152 \cdot 1,90^{-2} = 0,042$	φ_{obs}	0,039
2	$\cdot 1,90^{-1} = 0,080$		0,091
3	$\cdot 1,90^0 = 0,152$		0,161
4	$\cdot 1,90 = 0,289$		0,256
5	$\cdot 1,90^2 = 0,547$		0,565
6	$\cdot 1,90^3 = 1,040$		1,035

Ekvationen blir $\epsilon = \epsilon_0 \left(1 + 0,152 \frac{1,90^z}{1,90^3} \right)$

Emellertid visar diagrammet (figur 100) ϵ_0 -värden som icke står i riktigt god relation till påkänningarna 25 50 125 kp/cm². Detta kan bero på mätfel men också ojämnhetskvalitet hos provremarna. Det sistnämnda bör inverka även på krypkurvorna, eftersom krypningen förutsättes stå i direkt relation till den momentana deformationen ϵ_0 vid pålastning, och denna i sin tur skall vara proportionell mot påkänningen inom måttliga gränser. Kalkylering av korrigerade värden för ϵ_0 baseras därför på samtliga observerade ϵ -värden.

Man erhåller en överblick och kontroll av krypningens proportionalitet till σ om man vid kalkylen ställer ϵ vid olika påkänningar i proportion till ϵ för ett visst σ , t.ex. 100, vid motsvarande tidpunkter. Om sålunda alla ϵ divideras med samtidigt värde för $\epsilon_{\sigma = 100}$ erhålles uppställningen :

Tid h	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	$\sum \epsilon : \sum \epsilon_{100}$
σ								
25	0,26	0,25	0,24	0,23	0,25	0,27	0,26	0,25
50	0,54	0,54	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48	0,50
75	0,78	0,77	0,75	0,73	0,74	0,76	0,73	0,75
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
125	1,23	1,24	1,25	1,22	1,15	1,29	1,33	1,24
$\sum$ 375	3,81	3,80	3,75	3,66	3,62	3,80	3,80	3,74

$\sum$ -kolumnen längst till höger visar nästan perfekt proportionalitet mot σ , men inne i tabellen finnes några värden, som avviker ganska mycket och drager ner nivån tillfälligt vid 1 h och 10 h. I stort sett uppfylles dock förutsättningarna om direkt samband mellan σ , ϵ och ϵ_{kryp} . Korrigeringen av ϵ_0 -värden utföres :

σ	ϵ_0	korr	ϵ_0 korr
25	$0,051 \cdot 0,25 : 0,26$	=	0,049
50	$0,106 \cdot 0,50 : 0,54$	=	0,098
75	$0,153 \cdot 0,75 : 0,78$	=	0,147
100	$0,196 \cdot 1,00 : 1,00$	=	0,196
125	$0,241 \cdot 1,24 : 1,23$	=	0,243
$\sum$	0,747		0,733

Härav kan E-modulen bestämmas

$$E = \frac{375 \cdot 100}{0,733} = 51\,000 \text{ kp/cm}^2$$

På motsvarande sätt har α , k , ϵ_0 och E bestämts för övriga kurvskaror i figurerna 100 och 101. Resultaten sammanställas :

Material	R. f. %	α	k	ϵ_0 % vid σ kp/cm ²					E kp/cm ²
				25	50	75	100	125	
1/8" Masonite	32	0,068	1,96	0,051	0,095	0,138	0,187	0,234	53100
enl. figur 100	65	0,152	1,90	0,049	0,098	0,147	0,196	0,245	51000
	90	0,164	2,50	0,051	0,106	0,163	0,235	--	45000
1/8" defibra-	32	0,128	1,70	0,047	0,092	0,142	0,195	0,249	51600
torboard	65	0,140	1,89	0,056	0,106	0,138	0,180	0,245	52000
enl. figur 101	90	0,275	2,26	0,048	0,116	0,200	0,307	--	37200

Eftersom variationerna hos α och k gör det svårt att få en överblick och jämförelse, kan det vara motiverat att kalkylera ϵ för t.ex. $\sigma = 50 \text{ kp/cm}^2$ och 100 000 h belastningstid (11,4 år), d.v.s. ett praktiskt rimligt fall. Man erhåller :

1/8" Masonite	32 % r. f.	$\epsilon = 0,28 \%$	
	65	$= 0,47$	
	90	$= 1,80$	(medför brott)
1/8" defibra- torboard	32	$\epsilon = 0,26$	
	65	$= 0,47$	
	90	$= 2,00$	(medför brott)

Resultaten blir förbluffande lika för de två boardfabrikaten trots stora skillnader i α och k .

Masonite och defibratorboard brukar uppvisa olika brotttöjning, varför följande sammanställning av observerade brottdeformationer vid 65 % r.f. kan vara av intresse :

σ	125	150	175	200	225	250	Mv
1/8" Masonite							
ϵ_o	0,245	0,300	0,352	0,455	0,553	0,670	
ϵ_{kryp}	0,343	0,375	0,328	0,229	0,237	0,253	0,294
ϵ_{brott}	0,588	0,675	0,680	0,684	0,790	0,923	0,723
1/8" defibrator-board							
ϵ_o	0,245	0,298	0,365	0,458	0,530	0,582	
ϵ_{kryp}	---	0,262	0,285	0,292	0,155	0,158	0,230
ϵ_{brott}	ej brott	0,560	0,650	0,750	0,685	0,740	0,677

Masonites värden kan nog anses normala, medan däremot defibratorboarden varit sprödare än vanligt. Andra mätningar har ofta givit brotttöjningar över 1 % för sådan board, se t.ex. figur 78, men då har E-modulen varit ca 40 000 i st.f. 50 000 som hos ovannämnda kvalitéer.

Brottöjningen ökar med påkänningen, vilket beror på större elastisk deformation ϵ_o . Däremot blir ϵ_{kryp} mindre vid höga påkänningar, vilket stämmer med den i figurerna 92 och 93 skisserade deformations- och brottmekaniken.

Iakttagelsen är viktig ty om prover utsatta för lägre påkänningar medgiver större krypning, innan brott inträffar, kan för dem en minimi-livslängd kalkyleras från iakttagen brottkrypning hos prover som vid högre påkänning gått till observerat brott. För sådan beräkning kan krypekvationerna enl. ovan användas, varvid z bestämmes från insatta värden på ϵ_{kryp} och ϵ_o . Ev. kan ϵ_{kryp} därvid väljas så att ytterligare säkerhetsmarginal erhålles.

På försök göres en uträkning av tiden till brott för ett Masonite-prov belastat till $\sigma = 50 \text{ kp/cm}^2$. Brottkrypningen antages vara 0,40 % , d.v.s. något mer än

iaktagna värden för $\sigma = 125$ och 150 kp/cm^2 . Ekvationen blir

$$\epsilon_{\text{kryp}} = \epsilon_0 \propto \frac{k^z}{k^3} ;$$

$$0,40 = 0,098 \cdot 0,152 \frac{1,90^z}{1,90^3} ;$$

$$1,90^z = 185$$

$$z = 8,12 \quad t = 10^{5,12} \text{ h} = 132\,000 \text{ h}$$

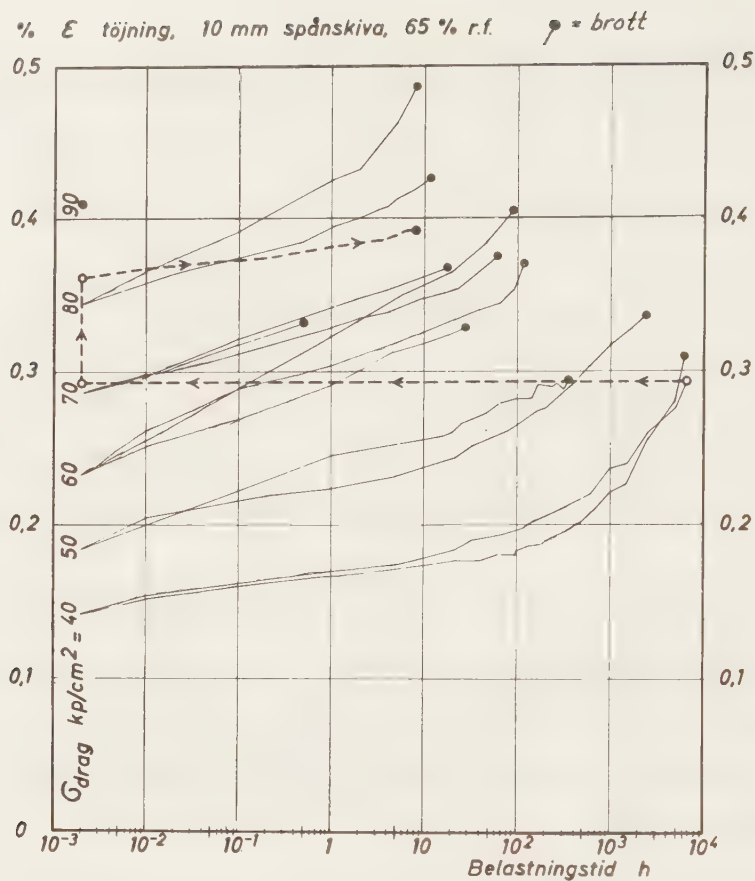
Korttidshållfastheten har varit något över 250 kp/cm^2 , och hälften därav, 125 ~~ä~~ 150 kp/cm^2 , har givit brott efter 10^3 h . Om brottiden kunde extrapoleras linjärt, såsom skissats i figurerna 85 och 86, skulle den för 50 kp/cm^2 , d.v.s. ca 20 % av korttidshållfastheten, bli drygt 10^6 h , vilket är en tiopotens mer än nyss framräknade värde.

Skillnaden kan till en del bero på att $\epsilon_{\text{kryp}} = 0,40$ är ett för lågt värde. Därpå tyder observationer av brottöjning efter särskilt lång tid / 39. Bild 5 /. Om man använder $\epsilon_{\text{kryp}} = 0,60$, vilket möjligen skulle kunna anses motiverat, erhålles brottiden $10^{5,76} \text{ h} = 580\,000 \text{ h}$. Resterande fel måste väsentligen tillskrivas brister hos den använda, enkla potensformeln och den osäkra linjära extrapoleringen av brottider.

Diagram 102 visar krypning hos spånskiva belastad till olika dragspänning. Kurvornas ojämna förlopp beror dels på att luftfuktigheten reglerats mindre noggrant i detta fall, dels på att de lokala kvalitetsvariationerna är större hos spånskivor än board. För att få diagrammet läsbart har för varje lastnivå, $\sigma = 40$ 50 90 kp/cm^2 , uträknats ett medelvärde för ϵ_0 , vilket tagits som gemensam utgångspunkt för de olika provernans krypkurvor. Dessa är däremot icke omräknade.

Bearbetning av kurvorna för $\sigma = 40$ och 50 kp/cm^2 ger följande medelvärden : $\alpha = 0,20$ $k = 1,50$ och $E = 27\,600 \text{ kp/cm}^2$. De avser 65 % r.f., såsom diagrammet anger.

Figur 102



Töjningens medelvärde för olika påkänningar är

σ	40	50	60	70	80	90	Mv
ϵ_o (%)	0,142	0,184	0,232	0,286	0,343	0,410	
ϵ_{kryp}	0,168	0,134	0,136	0,072	0,113	0	0,125
ϵ_{brott}	0,310	0,318	0,368	0,358	0,456	0,410	0,369

Brottöjningen är hälften så stor som för board. Krypningen till brott avta-
ger med påkänningen liksom för board. Livslängden för ett prov belastat till
 18 kp/cm^2 d.v.s. 20 % av korttidshållfastheten (motsvarar 50 kp/cm^2 för board
ovan) beräknas under antagandet att $\epsilon_{kryp} = 0,20\text{ \%}$:

$$0,40 = \frac{18}{40} \cdot 0,14 \cdot 0,20 \cdot \frac{1,50^z}{1,50^3}$$

$$z = 11,5 \quad t = 10^{8,5} \text{ h.}$$

Man kan jämföra detta värde med brottiderna enligt figur 87, som är baserad på samma mätningar. En extrapolering av dess kurva ger $10^{7,5}$ h. Båda värdena är 1 & 2 tiopotenser högre än för board. Observera dock skillnaden i absolut påkänning. Vid $\sigma = 50$ skulle spånskivan ha brustit redan efter 10^3 h.

En av de två understa krypkurvorna i figur 102, $\sigma = 40$, går fram till ca 6500 h utan att brott har inträffat. Det borde dock varit nära förestående att döma av duplettprovet och övriga kurvor. Vid detta tillfälle har emellertid belastningen ökat till $\sigma = 80 \text{ kp/cm}^2$, varefter provet krupit till brott på 8 h. I diagrammet visas detta med streckade linjer. Hela förloppet kan skrivas så :

Stegvis	$\varepsilon_{\circ 40} = 0,142$	Motsvarande	$\varepsilon_{\circ 80} = 0,343$
pålastning		vid direkt	
0 - 40 - 80	$\varepsilon_{\text{kryp}_{40}} = 0,152$	pålastning	$\varepsilon_{\text{kryp}_{80}} = 0,113$
		0 - 80	
	$\varepsilon_{\circ 40-80} = 0,068$		$\varepsilon_{\text{brott}} = 0,456$
	$\varepsilon_{\text{kryp}_{80}} = 0,030$		
	$\varepsilon_{\text{brott}} = 0,392$		

Av försöket kan följande utläsas :

1. Trots den långvariga belastningen vid $\sigma = 40$ har provet icke genast brustit vid pålastning till $\sigma = 80$. Detta bekräftar de iakttagelser som redovisats i figurerna 90 och 91.
2. Livslängden vid $\sigma = 80$ har varit ungefär densamma som för prover pålastade direkt till den påkänningen.
3. Vid direkt belastning blir $\varepsilon_{\circ 80} = 0,343$, medan summan av $\varepsilon_{\circ 40}$ och $\varepsilon_{\circ 40-80}$ bara varit 0,210.

4. Krypningen vid $\sigma = 80$ är mycket större hos direkt pålastade prover : $\epsilon_{\text{kryp80}} = 0,113$ mot endast 0,030 hos stegvis lastat prov, vilket tydligen redan utnyttjat det mesta av sin möjliga krypdeformation.

Dessa iakttagelser ger i sin tur underlag för olika, tänkbara resonemang och förklaringar, t.ex. :

5. Eftersom krypningen vid $\sigma = 80$ är så markant olika, kan deformationstillståndet ej vara detsamma hos direkt och stegvis belastat material. Ändå har ϵ ungefär samma storlek i båda fallen omedelbart efter pålastning till $\sigma = 80$.

Förklaringen skulle vara den, att deformationen icke enbart är en viskoelastisk företeelse utan delvis beror på partialbrott i en del svagare koppelkedjor. Risken för att dessa brister är större vid hastig pålastning, medan däremot en lägre påkänning under lång tid medför spänningsfördelande deformationer.

En sådan hypotes ger också förklaring till att full återfjädring aldrig uppnås ens efter mycket kortvarig belastning : En del primärt påkända förband brister antingen genast eller efter krypning, och därmed rubbas jämvikten i fiberstrukturen, som säkert rymmer mängder av inre spänningar.

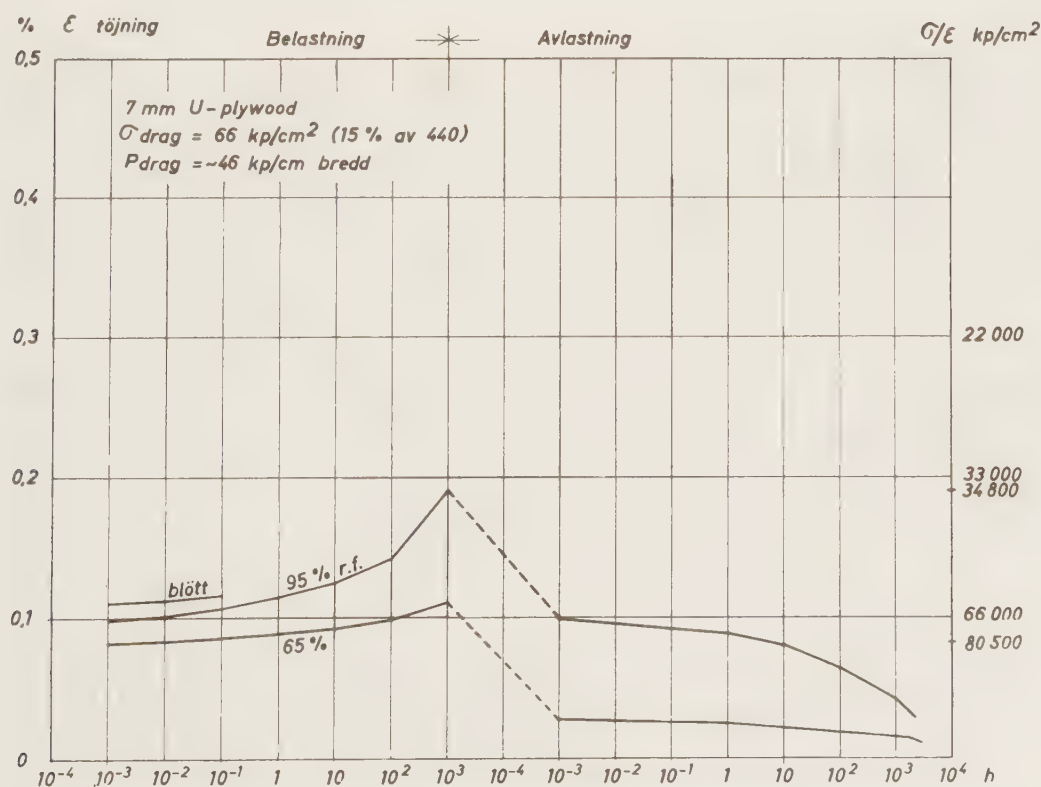
Kompletterande synpunkter på de iakttagna effekterna lämnas i ett senare avsnitt om pulserande belastning.

Om spånskivan belastas med 18 kp/cm^2 , d.v.s. 20 % av korttidshållfastheten 90 kp/cm^2 , kan deformationen efter 10^5 h kalkyleras till 0,164 % med ovan angivna α och k . $1/8''$ hård Masonite och defibratorboard gav $\epsilon = 0,470 \%$ vid 50 kp/cm^2 (också ca 20 % av korttidshållfastheten), vilket kan omräknas till 0,169 vid $\sigma = 18 \text{ kp/cm}^2$ 10^5 h . Spånskivan och boardsorterna ger alltså i detta fall samma långtidsdeformation vid lika påkänning.

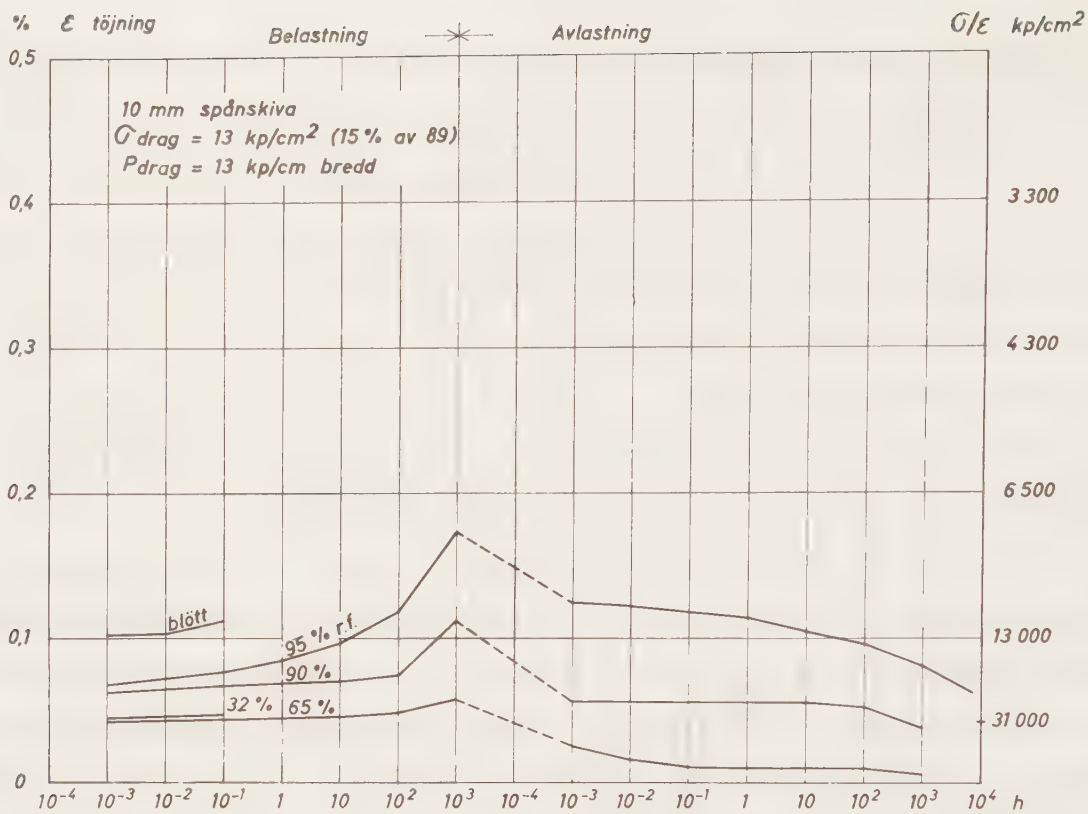
En jämförelse med plywood kan vara intressant : $\sigma = 100$, som också är 20 % av korttidshållfastheten, ger efter 10^5 h $\epsilon = 0,17 \%$ om man räknar med α och k från figur 95. Spånskiva och plywood ger sålunda samma 10^5 h -deformation, när materialen belastas i förhållande till sin korttidshållfasthet.

Genomgången av krypning under varaktig, konstant last skall avslutas med en redovisning av de fem 'typskivorna' som provats vid olika r.f. och påkänningar motsvarande 15 % av deras korttidshållfasthet vid normalklimat (65 % r.f. 20 °C). Förutom 65 90 och 95 % luftfuktighet, som upprätthållits noggrant under 1000 h belastning, har kortvariga prov gjorts vid 32 % r.f. och med helt genomblöta provkroppar för att få en idé om inverkan av extrema klimat. En total nedblötning kan i praktiken inträffa i samband med läckage eller brandsläckning, men som tidigare visats, fordras ganska lång tid, innan skivorna blir genomvåta. Vattenflöden hinner stoppas och avlastning ev. ske i kritiska fall.

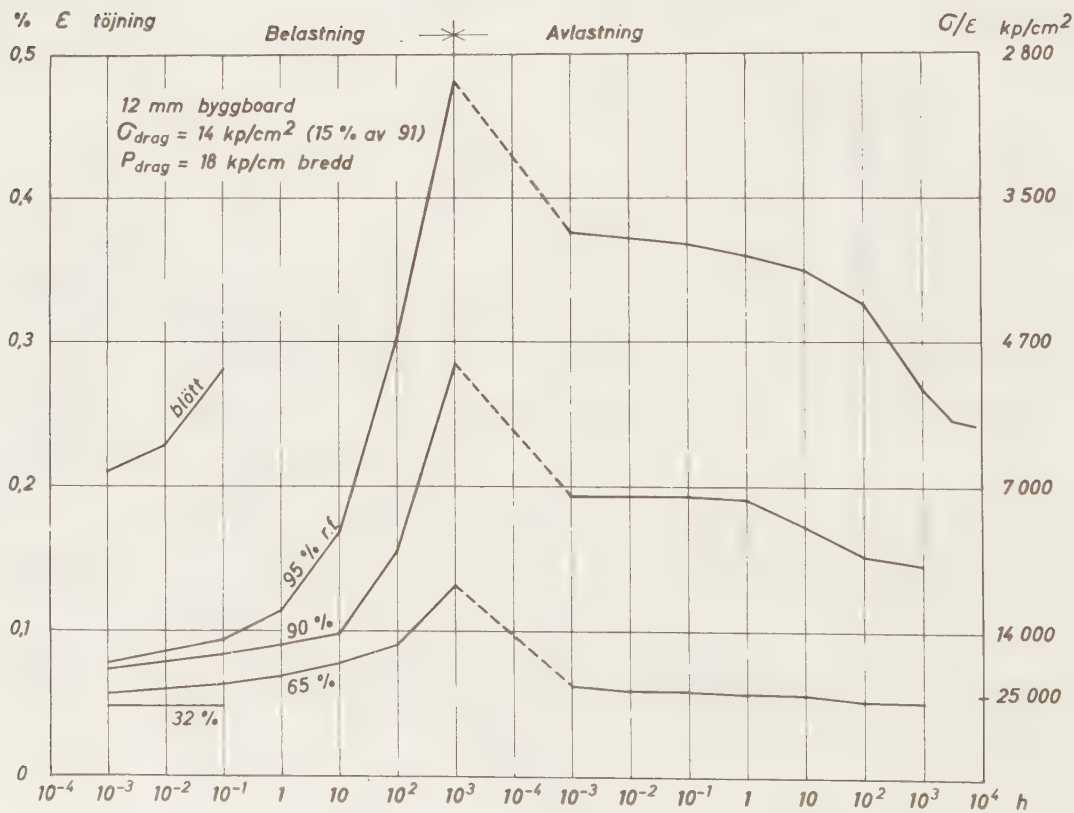
Figurerna 103 - 107 ger underlag för kalkylering av α och k för plywood, spånskiva, byggboard, hård board och oljehärdad. Särskilda ansträngningar har gjorts för att noggrant mäta deformationerna inom 0,1 h efter på- och avlastning. 95 %-kurvorna har i sin helhet framtagits med allra största omsorg, vilket är nödvändigt för att nå säkra resultat vid sådant extremt klimat. Tabellen efter figur 107 redovisar resultaten och ger dessutom kalkylerade deformationer efter 10^4 10^5 och 10^6 h, d.v.s. drygt 1 10 och 100 år.



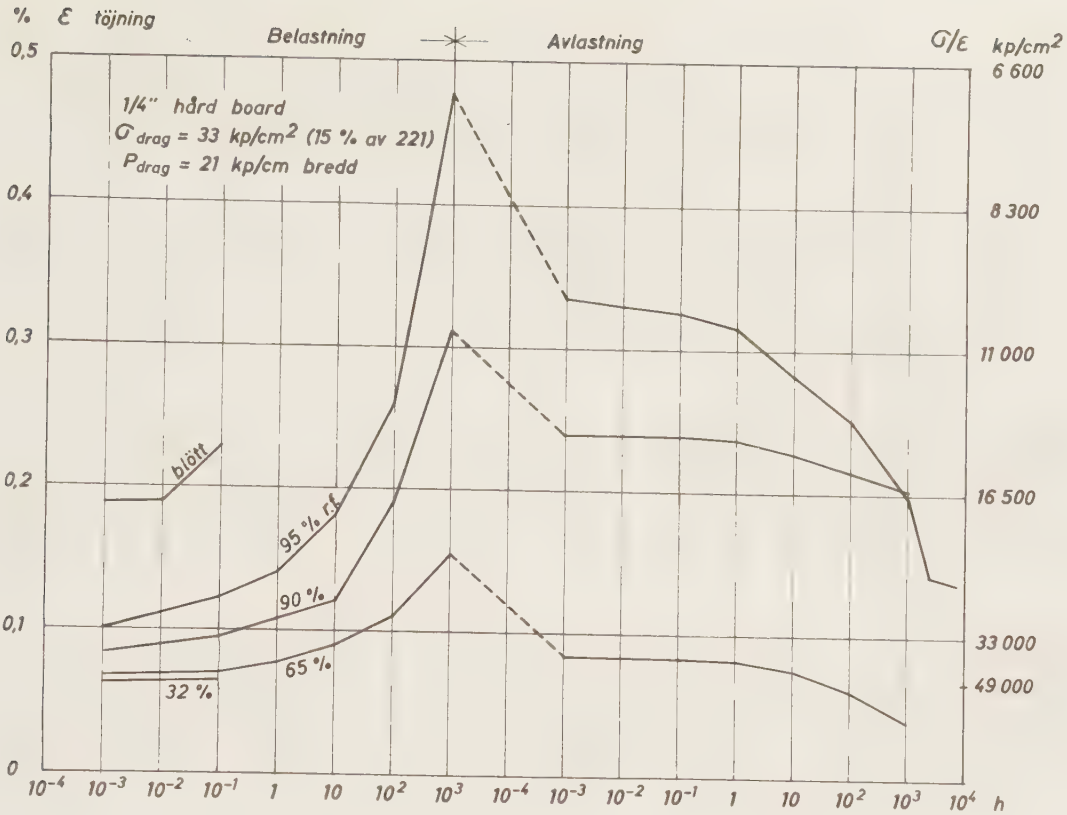
Figur 103 7 mm U-plywood



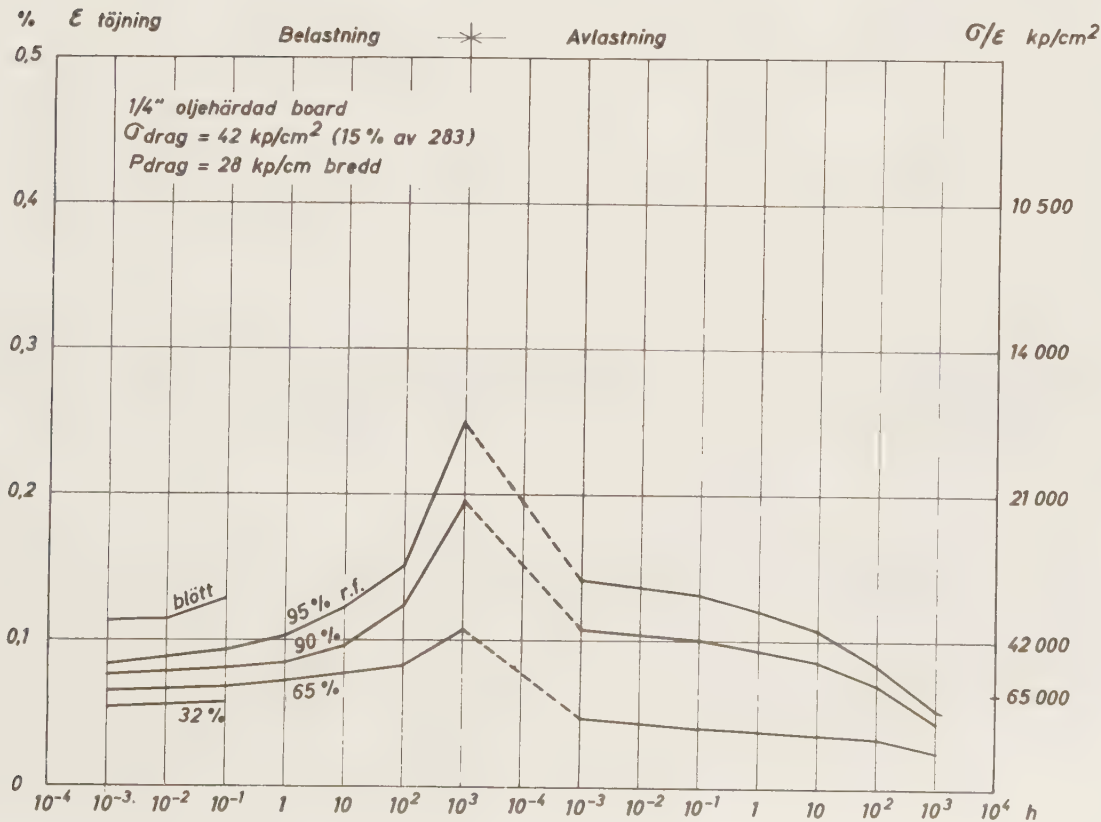
Figur 104 10 mm spånskiva.



Figur 105 12 mm byggboard.



Figur 106 1/4" hård board.



Figur 107 1/4" oljehärdad board.

Sort	r.f.	ξ_0	α	k	ξ_{tot} efter		
					10^4 h	10^5 h	10^6 h
U-plywood	32	--	--	--	--	--	--
7 mm	65	0,082	0,043	1,73	0,11	0,14	0,38
$\sigma = 66$	90	--	--	--	--	--	--
$\gamma = 0,62$	95	0,098	0,145	1,86	0,27	0,41	0,68
blött		0,111	--	--	--	--	--
Spånskiva	32	0,045	--	--	--	--	--
10 mm	65	0,042	0,041	2,09	0,07	0,11	0,19
$\sigma = 13$	90	0,062	0,053	2,47	0,18	0,36	0,79
$\gamma = 0,60$	95	0,068	0,209	1,96	0,28	0,48	0,88
blött		0,102	--	--	--	--	--
Byggboard	32	0,048	--	--	--	--	--
12 mm	65	0,057	0,172	1,97	0,20	0,35	0,63
$\sigma = 14$	90	0,074	0,172	2,54	0,60	1,54	3,48
$\gamma = 0,63$	95	0,078	0,580	2,07	0,89	1,79	3,62
blött		0,210	--	--	--	--	--
Hård board	32	0,063	--	--	--	--	--
1/4"	65	0,068	0,132	2,12	0,25	0,45	0,88
$\sigma = 33$	90	0,084	0,246	2,22	0,59	1,20	2,57
$\gamma = 0,97$	95	0,100	0,362	2,17	0,90	1,84	3,86
blött		0,188	--	--	--	--	--
Oljehärdad	32	0,054	--	--	--	--	--
1/4"	65	0,065	0,071	2,10	0,15	0,25	0,46
$\sigma = 42$	90	0,075	0,108	2,38	0,33	0,69	1,54
$\gamma = 1,02$	95	0,083	0,247	2,00	0,41	0,74	1,39
blött		0,113	--	--	--	--	--

Resultaten förefaller ganska konsekventa inbördes, dock med undantag för tabellens allra sista värde eller det som står däröver (1,39 resp. 1,54). F.övr. blir kommentarerna :

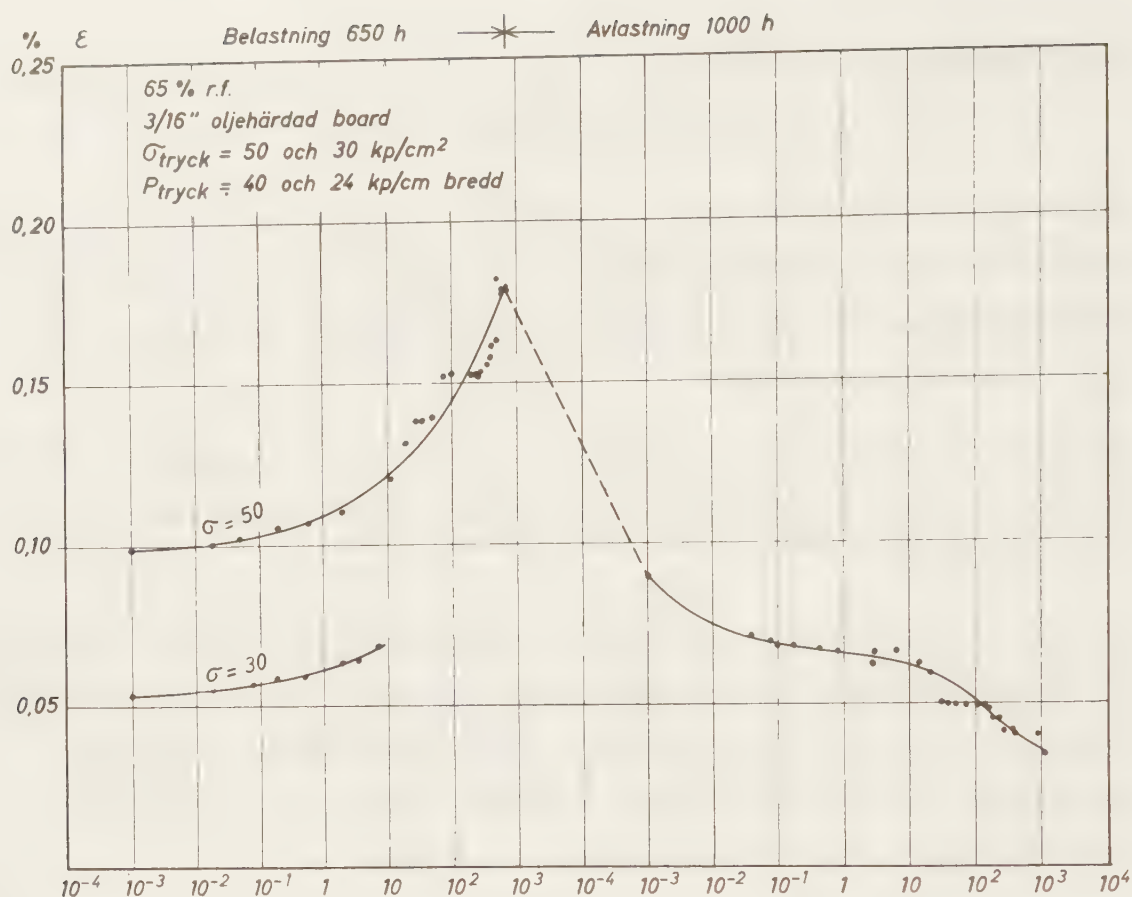
1. För tunn plywood kan kvalitetsvariationerna vara stora. Tabellens värden för 65 % r.f. förefaller något för låga jämfört med tidigare redovisade resultat från figurerna 95 och 98.

2. För spånskivan har koefficienterna α och k fått andra proportioner än enligt figur 102, men omräknat till samma påkänning stämmer ϵ_0 och $\epsilon_{10^5 h}$ bra.
3. Byggboarden ger vid långtidslast 3 á 4 gånger större deformationer än spånskivan trots att E-modulerna från början varit ungefär lika. Bättre värmebehandlad byggboard är dock fullt jämförbar med de bästa spånskivor. Se figur 122 och tillhörande text.
4. Den hårda boardens resultat stämmer bra med tidigare framräknade värden, men man får nog räkna med att kvalitéen hos 1/8" board vanligen är något högre än hos 1/4"
5. Oljehärdad board har hävdats sig bra som konstruktionsmaterial vid 65 % r.f. och ganska bra även vid höga luftfuktigheter. Av de två sinsemellan inkonsekventa tabellvärdena 1,39 och 1,54 är det förstnämnda baserat på noggrannare mätningar och troligen riktigast. Skillnaden mellan oljehärdad och hård board är påtaglig, särskilt om olikheten i σ beaktas.

Det är mycket besvärligare att mäta skivors långtidsdeformationer vid tryckbelastning än vid dragning. Några försök har dock genomförts, och de två använda metoderna skall redovisas.

I det första fallet, som resulterat i krypkurvor enligt figur 108, har fyra rem-sor av 3/16" oljehärdad board med 5 cm bredd limmats samman kant i kant till ett rör med kvadratisk tvärsektion. Röret har ställts på klimatskåpets botten och belastats med en dragstång centrerad i röret och infäst i en tryckplatta lagd på rörets topp. Stångens nedre ände under klimatskåpets botten har varit kopplad till en belastad hävarm på samma sätt som vid töjningsmätning. På boardrörets ut-sida har mätur med 500 mm mätlängd monterats på två motstående sidor.

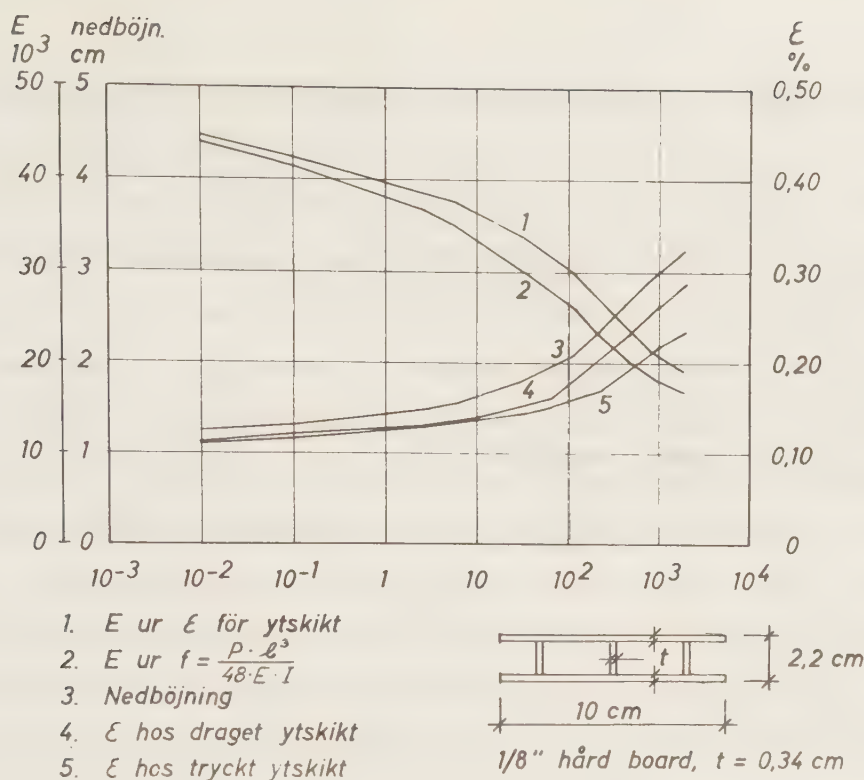
Kurvan för $\sigma = 50 \text{ kp/cm}^2$ ger värdena $\epsilon_0 = 0,097 \%$, $\alpha = 0,098$ och $k = 2,11$. Motsvarande för töjning vid dragning av 1/4" oljehärdad var $\epsilon_0 = 0,077 \%$ (omräknat till $\sigma_{\text{drag}} = 50$), $\alpha = 0,07$ och $k = 2,10$. E-modulen har alltså varit något större vid dragning än tryck. Observera dock att värdena gäller olika skivor.



Figur 108

I det andra fallet har provningen genomförts som böjning av en lådbalk tillverkad av 1/8" hård board, se måttsatt sektion i figur 109. Den fria spännvidden har varit 120 cm. Balken har på mitten burit en punktlast av 9,2 kp avpassad att ge $\sigma = 50 \text{ kp/cm}^2$ i ytskikten. På dessa har töjningsmätare funnits fast monterade under hela belastningstiden. Luftfuktigheten har varit 65 % r.f.

Figuren ger besked om nedböjningen vid balkens mitt och deformationerna i ytskikten. Från dessa värden har framräknats motsvarande 'effektiva E-modul' (egentligen σ/ε) vid varje tidpunkt. Detta ger två skilda E-kurvor, och skillnaden mellan dem bör vara ett mått på skjuvdeformationens bidrag till balkens nedböjning. Man kan även genom direkt kalkyl av skjuv-termen finna, att den är av underordnad betydelse hos en lådbalk med ifrågavarande sektion. Detta är i och för sig praktiskt intressant och ger impuls att optimera materialfördelning mellan liv och ytskikt för minsta deformation.



Figur 109

Vid pålastning blir $\epsilon_0 = 0,11\%$ för både tryckt och draget ytskikt vid balkens mittpunkt. Efter 1000 h är $\epsilon_{\text{drag}} = 0,26$ och $\epsilon_{\text{tryck}} = 0,22\%$. Alla dessa värden är fullt rimliga. Erfarenhetsmässigt hade man dock väntat lägre drag- än tryckdeformation, men sådana jämförelser skall man vara försiktig med vid provningar av detta slag. Små förändringar i fuktighet påverkar föga balkens nedböjning men däremot relationen mellan ytornas deformation. En obetydlig fuktökning förstörar det dragna skiktets längdökning och minskar det trycktas förkortning. En förändring av boardens fuktjämvikt motsvarande endast 2% r.f. medför $\Delta \epsilon = \pm 0,01\%$, d.v.s. hälften av ovan observerade ϵ -differens, egentligen hela differensen ty ϵ är mätt över balkens totala längd, varefter värdena fördubblats för att få ϵ vid mittpunkten (triangulär momentkurva och böjpkänning).

Man bör nöja sig med noteringen, att ϵ_{drag} och ϵ_{tryck} har samma storlek vid kortvarig last samt utvecklas ungefär lika under långvarig.

När nedböjningen blivit ca 2,5 cm, börjar vinkeländringar vid balkens upplag att inverka märkbart på mätningarna, varför kurvorna i diagrammet ej längre är korrekta.

ÅTERFJÄDRING VID AVLASTNING, INVERKAN AV PULSERANDE LAST

Flertalet av hittills redovisade diagram över krypning under last åskådliggör även förloppet vid och efter avlastning. Den momentana återfjädringen har markerats med en streckad linje fram till tiden 10^{-3} h (3,6 sek.), då första avläsningen hunnit göras. Därefter har den elastiska efterverkan, 'återkrypningen', följts fram till 10^3 h eller längre om ej mätanordningarna undantagsvis krånglat eller provkropparnas tendens till välvning omöjliggjort korrekta iakttagelser.

I ett par fall har återfjädringen vid oförändrad fuktighet kunnat följas under så lång tid som 33500 h (4 år). Icke ens då har rörelsen helt upphört men varit så långsam, att den börjat skymmas av mätfel i form av små r.f.-förändringar.

Den elastiska efterverkans förlopp liknar krypningen under last men förefaller ibland att gå något saktare. Försök har visat, att returrörelsen kan påskyndas genom fuktcykler, vilket påminner om de kvarstående dimensionsförändringar som uppkommer vid fuktcykler, se t.ex. figur 34. Mekaniken är förmodligen densamma - och därmed finns också risk för sammanblandning.

En väsentlig iakttagelse är, att återgång aldrig sker till ursprunglig längd, icke ens efter kortvarig belastning. Effekten kan tänkas bero på inre friktion i fiberstrukturen eller på att en del svaga, primärt påkända förband brustit, så att den inre jämvikten rubbats.

Diagrammen i figurerna 95 - 108 ger en allmän uppfattning om olika faktors inverkan på återfjädringen :

1. Plywood visar mest fullständig återfjädring, därefter spånskivor, oljehärdad board, hård board samt sist byggboard. Ju mindre tendenser till krypning under last, desto fullständigare återfjädring, är tydligen regeln.
2. Efter viss tids avlastning är den kvarvarande deformationen proportionell mot påkänningen under en given lastperiod. Huruvida återgången så småningom upphör på nivåer som fortfarande är proportionella mot σ är okänt.

3. Hög luftfuktighet förminskar eller försenar retrurrörelsen högst avsevärt.

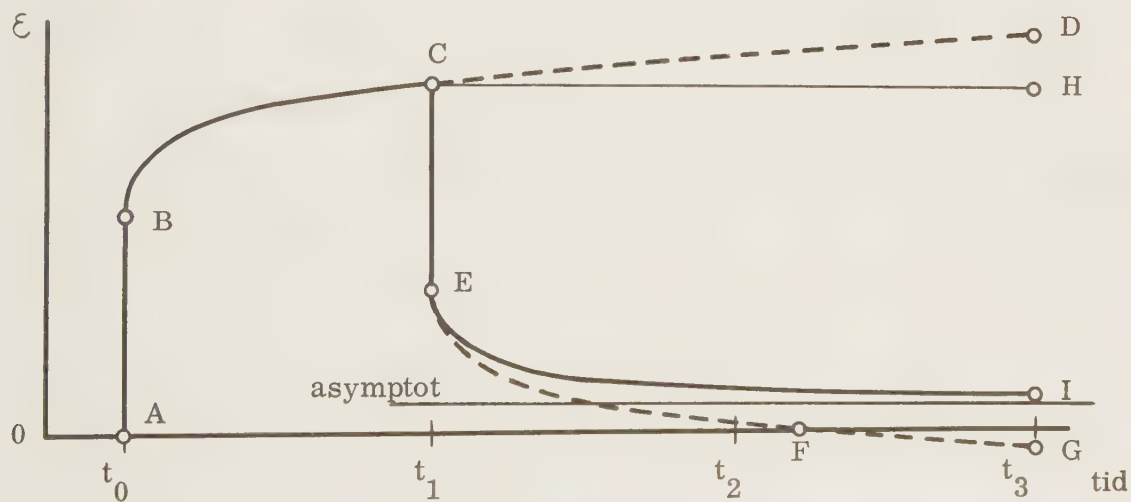
Förloppen vid 32 och 65 % r.f. visar däremot ringa skillnad.

Jämförande försök med kortvariga belastningar, 10^{-3} & 10^{-1} h, har givit underlag för ytterligare en notering :

4. Vid avlastning blir den momentana återfjädringen nästan lika stor som ϵ_0 oavsett om belastning varat 10^{-3} eller 10^3 h. Ett par exempel finnes dock på mindre återfjädring efter längre belastningstid.

Vid beräkning av kryp-benägna materials deformation efter avlastning eller vid växlande belastning brukar man kunna använda s.k. superposition. Det innebär, att man med positiva eller negativa tecken adderar effekten av förekommande belastningsförändringar vartefter de inträffar.

Det karakteristiska för dessa material är att ifrågavarande effekter, d.v.s. deformationer, icke är begränsade till vad som sker i ögonblicket för laständring utan utvecklas fortlöpande under all tid därefter, åtminstone teoretiskt sett. Man förstår detta resonemang bättre, om det åskådliggöres grafiskt som i figur 110, där tidsskalan är linjär i motsats till den logaritmiska gradering som använts i alla tidigare krypdiagram (och kanske givit ett felaktigt intryck av att krypningen går fortare och fortare).



Figur 110

Vid tiden t_0 sker pålastning, som momentant medför deformationen AB. Under konstant, vilande last ökar deformationen till C under tiden t_1 och skulle fortsatt att öka mot punkt D om ej avlastning skett vid C. Avlastningen medför genast en återfjädring CE, som är något mindre än AB. Om den elastiska efterverkan därefter följde samma kurvform som BC men spegelvänd, skulle kurvan skära abskissan i F, d.v.s. strax efter tiden t_2 . Återfjädringen skulle sedan fortsätta förbi utgångsvärdet ($\epsilon = 0$) till G vid tiden t_3 och teoretiskt gå vidare hur långt som helst, vilket givetvis vore helt orimligt.

Enligt principen för superposition räknas förloppet efter tiden t_1 som den adderade effekten av belastning och avlastning ($\sigma - \sigma = 0$). Återfjädringen skall alltså kalkyleras från kurvan CD och ej linjen CH, och då erhålles kurvan EI, som får asymptoten $\epsilon = \epsilon_{\text{kvarst.}}$, d.v.s. den kvasi-permanenta deformation som varje pålastning oundvikligen medför.

För att kontrollera principens giltighet skall några exempel genomräknas. Först väljes ett enkelt fall såsom kurvan i figur 99, vars långa avlastningstid gör den särskilt intressant. Koefficienterna för deformation under last har tidigare kalkylerats till $\epsilon_0 = 0,097$ $\alpha = 0,109$ och $k = 1,66$.

Tiderna har varit

belastning	5586 h		
avlastning	33482 h	$\log = 4,5247$	($z = 7,5247$)
totalt	39068 h	$\log = 4,5919$	($z = 7,5919$)

Den kvarstående deformationen efter 39 068 h borde bli

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0,097 \left(1 + 0,109 \cdot 1,66^{4,5919} \right) - 0,097 \left(1 + 0,109 \cdot 1,66^{4,5247} \right) \\ &= 0,004 \% \end{aligned}$$

Kurvan visar emellertid ett mycket högre värde, 0,032 %, varför kalkylen skulle ha ett fel på $0,032 - 0,004 = 0,028$ %. Eftersom avlastningen varit långvarig, och återfjädringen tenderat att helt upphöra, föreligger tydligen en permanent deformation av ca 0,028 %. Redan vid avlastningen tycks denna ha gjort sig märkbar. Då

blev den momentana återfjädringen endast 0,072 % mot 0,097 vid pålastning. Skillnaden 0,025 stämmer bra. Försök har visat, att dessa kvarstående deformationer reduceras om provkropparna utsättes för fuktväxlingar, varför den praktiska betydelsen kan bedömas vara ringa.

För att få en något säkrare eller i varje fall mer komplett kontroll av sambandet mellan krypning och återfjädring har ett antal speciella försök genomförts med växlande på- och avlastning till olika belastningsnivåer. I några fall har därvid använts samma boardkvalitet som i exemplet ovan, d.v.s. 1/8" hård board från 1959.

Figur 111 visar ett par sådana försök, där provkropparna A och B växelvis belastats till $\sigma_{\text{drag}} = 50$ och 110 kp/cm^2 under några månader. Deformationen efter 4 cykler = 1649 h skall kalkyleras och jämföras med den observerade. Dessförinnan skall nämnas, att båda provkropparna avlastades under 12 000 h (1,4 år) efter lastcyklerna, varvid den 'kvasi-permanenta' deformationen blev 0,040 % för A och 0,042 för B.

Lasttider enl. figur 111 :

379 + 427 + 361 + 482 = 1649	log = 3,2172
427 + 361 + 482 = 1270	log = 3,1038
361 + 482 = 843	log = 2,9258
482 = 482	log = 2,6830

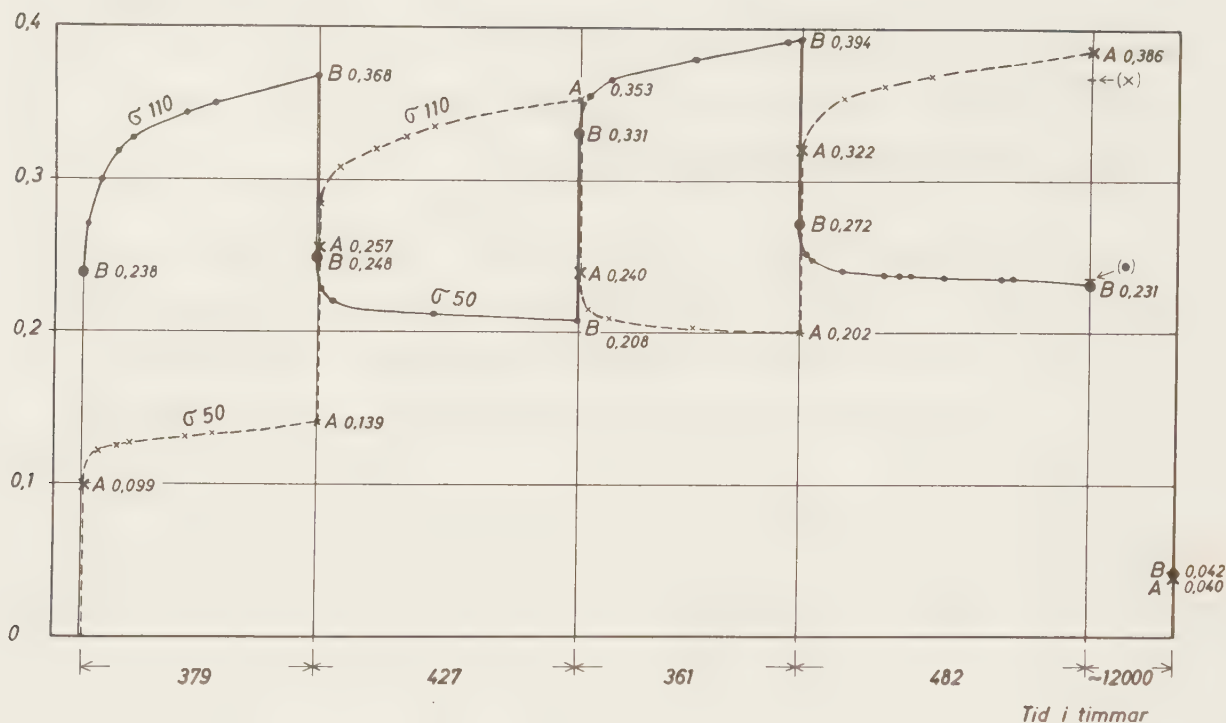
Koefficienterna tagas som förut : $\alpha = 0,109$ $k = 1,66$, men för ϵ_0 räknas med de värden som observerats just för dessa provkroppar A och B under den första pålastningen och avlastningen.

Kalkyl av ϵ_{1649} för A :

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0,099 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{3,2172}) + 0,118 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{3,1038}) - \\ &- 0,118 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{2,9258}) + 0,118 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{2,6830}) = \\ \epsilon &= 0,328 \% \end{aligned}$$

Om detta värde ökas med $\epsilon_{\text{perm}} = 0,040$ erhålles $\epsilon_{1649} = 0,368 \%$ att jämföras med $\epsilon_{\text{obs}} = 0,386 \%$.

% ϵ töjning 1/8" hård board 65% r.f.



Figur 111

Kalkyl för ϵ_{1649} för B :

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0,238 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{3,2172}) - 0,120 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{3,1038}) + \\ &\quad + 0,120 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{2,9258}) - 0,120 (1 + 0,109 \cdot 1,66^{2,6830}) \\ \epsilon &= 0,194 \% \end{aligned}$$

Om detta värde ökas med $\epsilon_{\text{perm}} = 0,042$ erhålles $\epsilon_{1649} = 0,236 \%$ att jämföras med $\epsilon_{\text{obs}} = 0,231 \%$.

Under förutsättning att ϵ_{perm} beaktas, blir överensstämmelsen god för både A och B.

Försök har också genomförts med större antal lastcykler för att studera hur detta inverkar på de momentana deformationerna.

Nedanstående schema visar förloppet, när hård 1/8" board av samma sort som 'A' och 'B' ovan utsättes för omväxlande last- och viloperioder med varaktighet enl. den första kolumnen, Δt . Den löpande, totala tiden Σt angives därbredvid.

Hård 1/8" board 1959 :

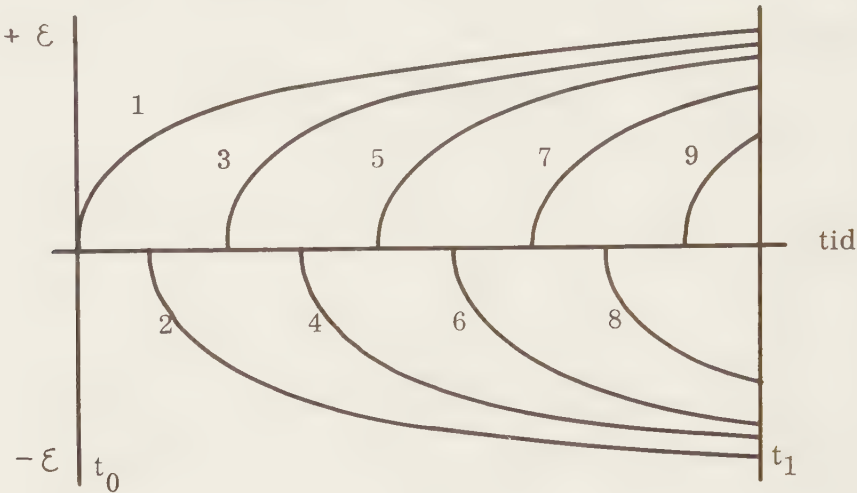
Tid h		σ	ϵ_{mom}		ϵ_{kryp}		ϵ_{tot}	
Δt	Σt		på	av	på	av	på	av
24	24	110	0,223		0,067		0,290	
356	280	0		0,226		0,046		0,018
24	304	110	0,233		0,043		0,294	
406	710	0		0,225		0,050		0,019
24	730	110	0,231		0,043		0,293	
146	876	0		0,219		0,044		0,030
24	900	110	0,216		0,048		0,294	
142	1042	0		0,219		0,046		0,029
24	1066	110	0,238		0,043		0,310	
..	...	.						
..	...	...						
24	1846	110	0,236		0,047		0,331	
165	2011	0		0,231		0,053		0,047
7000	9000	0						<u>0,015</u>

Ett 20-tal lastperioder har icke påtagligt förändrat ϵ_{mom} eller ϵ_{kryp} . Vid första cykeln har krypningen varit större än återfjädringen, vilket bidragit till den permanenta deformationen, liksom en liten men återkommande skillnad mellan $\epsilon_{\text{mom på}}$ och $\epsilon_{\text{mom av}}$.

Ett liknande försök har gjorts med spånskiva och givit likartade resultat. Dock kan där tydligare iakttagas successivt minskade värden för $\epsilon_{\text{kryp}} \left(\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \right)$, vilket stämmer med superpositions-regeln.

Effekten av superposition vid frekventa på- och avlastningar kan åskådliggöras med två skaror ϵ_{kryp} -kurvor förskjutna i tiden, figur 112. Grupperna motsvarar deformation i var sin riktning.

Figur 112

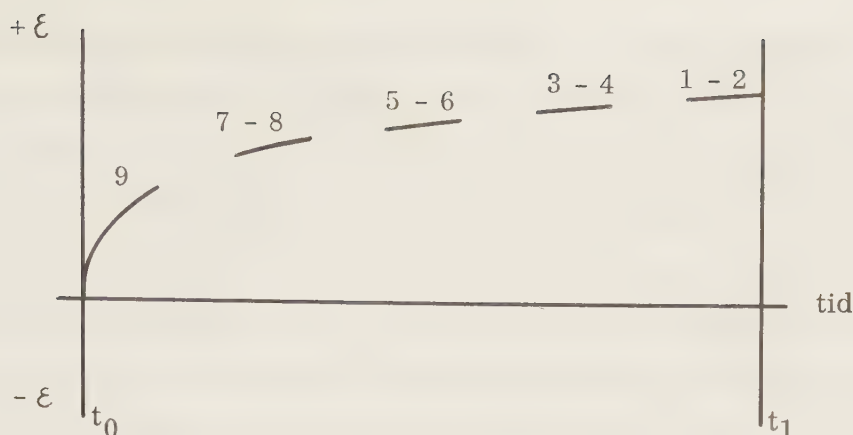


Om dessa kurvor adderas (med sina tecken $\pm$), erhålles ϵ vid t.ex. tiden t_1 . Men eftersom alla kurvorna har samma form, kan uträkningen förenklas avsevärt. Man ser detta bättre om kurvorna tänkas förskjutna åt vänster så att de börjar i origo men i gengäld slutar vid olika tidpunkt. Betraktade parvis kommer kurvor med udda och jämna nummer att utjämna varandra utom på en viss sträcka såsom visas i figur 113. Kvar blir bara delar av den ursprungliga kurvan nr 1, se figur 114.

Figur 113



Figur 114



Vid stort antal på- och avlastningar av sinsemellan samma varaktighet blir den resulterande deformationen tydligen hälften av vad den skulle blivit vid oavbruten last från t_0 till t_1 . Har lastperioderna bara varat $1/3$ och avlastningen $2/3$ av tiden, blir deformationen $1/3$ av den vid konstant last uppkomna, etc.

Genom uppdelning av lastkombinationer i konstanta och pulserande delar, kan även invecklade program lätt kalkyleras.

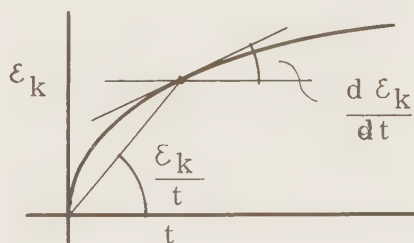
Man kan ha intresse av att känna krypkurvornas lutning vid viss tidpunkt (t i diagrammet nedan). Det ger bl.a. möjlighet att från en iakttagen krypning vid visst tillfälle bedöma situationen för en konstruktion som redan stått belastad längre eller kortare tid.

$$\varepsilon = \varepsilon_o (1 + \varphi) = \varepsilon_o + \varepsilon_k ; \quad \varphi = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_o} ; \quad \varphi = \propto \frac{k^z}{3} ; \quad z = \log \frac{t}{t_o} ;$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \varepsilon_o \frac{d\varphi}{dt} = \varepsilon_o \propto \cdot \ln k \frac{k^z}{3} \cdot \frac{dz}{dt} = \varepsilon_o \propto \cdot \ln k \frac{k^z}{3} \cdot \frac{1}{\ln 10} \cdot \frac{1}{t} ;$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \varepsilon_o \frac{\ln k}{\ln 10} \cdot \frac{1}{t} \cdot \varphi = \frac{\ln k}{\ln 10} \frac{\varepsilon_k}{t} ;$$

$$\frac{d\varepsilon_k}{dt} = C \frac{\varepsilon_k}{t} ; \quad \text{där} \quad C = \log k$$



Ett extremt fall av lastväxling utgör sådana pulserande belastningar, vibrationer e. dyl., som förorsakar utmattning i materialet. Inga undersökningar här- om har utförts vid laboratoriet, men F Kollmann och A Dosoudil /40 / har stu- derat problemet ingående och funnit utmattningshållfastheten (växelspanning vid böjning) vara omkring 23 % av den statiska böjhållfastheten vid korttidslast. För trä anges motsvarande värde till 30 % . Jämförande provning av board med 6 - 20 % limhalt gav knappast någon förbättring. P. gr. av inre friktion (hyste- resis) ökade boardens temperatur så att fukthalten sjönk 2 % , vilket ansågs tyda på stor dämpande förmåga.

MEKANISK INVERKAN AV FUKTFÖRÄNDRINGAR

Inga renodlade försök har utförts vid laboratoriet för att mäta krypning under konstant last vid växlande fuktighet.* Problemet har emellertid studerats i en prak- tiskt intressant variant, nämligen som uppmätning av krympkraften vid uttorkning av board, när dess normala fuktrörelse är helt eller delvis förhindrad.

Förloppet påminner om det klassiska fall, där man för Maxwells reologiska modell sätter $\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{konstant}$ för $t > 0$. Skillnaden är dels att den spännings- alstrande fuktförändringen kräver viss tid (som i sin tur beror av en mångfald fak- torer), varunder krypningen i boarden hinner börja, dels att E-modulen påverkas av torkningen.

Proven har tillgått så, att med töjningsmätare försedda boardremсор av 4' längd placerats i klimatskåp utrustat med belastningsanordningar. Efter konditionering till fuktjämvikt vid 65 eller 90 % r.f. i spänningslöst tillstånd har provkropparna exponerats för torrare klimat, varvid varje tendens till hygroskopisk längdföränd- ring kompenserats genom ökad eller minskad dragbelastning av remsorna. Lasten

* Not : Sådana försök har påbörjats under vintern 1967 - 1968 i klimatskåp och utomhus.

motsvarar krympkraften i en stumt infäst torkande skiva. Klimatförändringen har genomförts med olika hastighet för skilda provserier i avsikt att efterlikna praktiskt förekommande fall, t.ex. :

Vattnad board monterad på väggar i torr lokal. (Snabb torkning).

Uppvärmning av sportstuga under några dygn på vintern.

Uttorkning av nybyggt trähus vintertid.

Säsongsmässig uttorkning inomhus i äldre hus under hösten. (Långsam torkn.).

Som en intressant variant har provremsorna varit skarvade på olika sätt inom mätlängden, varvid ev. rörelser i fogarna kunnat uppmätas. Med denna metod har ett mycket stort antal kombinationer av skivmaterial, klimatväxlingar och fogtyper kunnat studeras rationellt under förhållanden som helt efterliknat praktiska fall. Resultaten har stämt med senare provningar i full skala, varför metoden rekommenderas.

Byggboard har vid snabb torkning från 65 till 30 % r.f. uppnått en maximal dragspänning av ca $\sigma = 15 \text{ kp/cm}^2$ efter 3 - 8 dygn. Vid uppfuktning i samma takt har remsan blivit spänningsfri vid 63 % r.f. Den goda återfjädringen är i någon mån skenbar och beror på fukthysteresis. Motsvarande provkropp försedd med spikad fog (dyckert nr 35 x 19 c/c 7,5 cm) når bara spänningen $\sigma = 2 \text{ å } 3 \text{ kp/cm}^2$ ty krympningen utlöses som en fogrörelse av 1,4 mm, när provets längd är 1220 mm (motsvarar bredden hos en skiva, 4').

Om luftfuktigheten vid provets början hålles högre, t.ex. 90 % r.f., uppnås ej nämnvärt större krympkrafter. Torkningen till 30 % kräver längre tid, vilket ger ökat tillfälle till krypning hos provkroppen, som dessutom är lättare töjbar vid högre fuktkvot.

För 1/8" hård board når krympspänningen knappast över $\sigma = 55 \text{ kp/cm}^2$ hos stumt infästade, oskarvade provkroppar. Detta värde reduceras till ca 35 kp/cm^2 om provremsan på längden 4' har en normalt spikad fog (spik nr 25 x 17 c/c 7,5 cm).

Ett exempel på hur man grafiskt kan åskådliggöra den hygroskopiska-mekaniska jämvikten i en skiva och dess spikförband vid fuktväxling har tidigare publicerats i / 21 Bild 12 /.

Som framgår av ovanstående kan fuktväxlingar förorsaka högst betydande spänningar om de naturliga hygroskopiska rörelserna förhindras. Problemet förekommer överallt, där material med olika dimensionsstabilitet förenas, eller där fuktförändringarna kommer i otakt p.gr. av skillnader i sorptionshastighet. Detta måste beaktas särskilt vid utformning och tillverkning av krafttagande element. En god regel är att eftersträva största fukttröghet, dels i syfte att dämpa fuktintervallet, dels ge materialen tid att krypa.

På förekommen anledning skall påpekas, att dragbrott i board aldrig kan uppstå av enbart krympspänningar. Teoretiskt skulle detta däremot kunna inträffa med spånskivor, som har mindre brottöjning. Båda materialen och även plywood kan ganska lätt få skjuvbrott vid limfogar p.gr. av krympkrafter. Även spikförband kan bli illa åtgångna av starka fuktväxlingar / 12 /.

Det finns anledning att komplettera laboratoriets hittillsvarande undersökningar av klimatets inverkan på E-modul, krypning och brottöjning. Så har t.ex. inga som helst prov utförts för att utreda temperaturens inverkan. Från försök med virke vet man, att E-modulen avtager med ökande temperatur. Eftersom temperaturen i praktiken sällan överstiger 20 °C, som använts vid laboratoriets mätningar, men ofta ligger under, bör de framtagna koefficienterna för deformation ligga på säkra sidan.

SAMMANFATTNING, DIMENSIONERING

Lämpliga påkänningar och acceptabla deformationer vid korrekt dimensionering fordrar kännedom om den spridning som förekommer i materialets hållfasthet och moduler. Redovisade tabeller har givit en uppfattning om kvalitetsvariationerna inom några få skivor uttagna samtidigt ur produktionen. Räknat på längre tid eller mellan skilda fabrikat blir variationerna givetvis betydligt större - några uppgifter lämnas i ett senare kapitel - , särskilt som den tekniska utvecklingen

inom board- och spånskiveindustrien ständigt medför avsiktliga förändringar. Man kan därför icke såsom för trä och plywood fastlägga absoluta och generella tillåtna påkänningar och motsvarande moduler utan måste ställa dessa i relation till mätvärden från aktuell korttidsprovning av ifrågavarande kvalitéer.

För E- och G-moduler kan man emellertid icke rekommendera en viss procent av korttidsvärden eftersom benägenheten för krypning varierar med fuktigheten och mellan fabrikat. Därför borde koefficienterna α och k empiriskt fastläggas i varje enskilt fall, vilket dock knappast blir praktiskt möjligt. Man får nöja sig med att använda några för varje material typiska värden och förutsätta, att erkänt goda fabrikat utnyttjas, helst med certifikat från regelbundet företagna provningar. En sådan ordning förefaller omständlig men blir kanske ändå acceptabel eftersom nyssnämnda koefficienter torde bero av materialets allmänna karaktär, som endast förändras vid systematisk övergång till annan produktionsteknik.

I detta sammanhang upprepas bedömningen av 'typ-skivornas' kvalitéer : Normal plywood, förstklassig spånskiva, god men alltför svagt värmehärdad byggboard, medelgod hård 1/4" board samt förstklassig oljehärdad board. Jämförande provningar av andra fabrikat har t.ex. visat upp till 50 % större krypning hos vissa spånskivor. Även oljehärdad board av låg kvalitet har påträffats. Däremot har krypningen hos hård 1/4" Masonite visat sig mindre fuktkänslig än hos provad 1/4" hård board av typskivans kvalitet.

För virke föreskriver BABS 1960 en maximal fuktkvot av 20 %, som motsvarar ca 90 % r.f.* Däröver skall tillåtna påkänningar reduceras genom multiplikation med faktorn 0,7. Detta aktualiserar resultaten från de klimatiska undersökningar, som redovisades i början av denna skrift. En sammanfattning av dem är nu av omedelbart intresse.

Från figur 34 hämtas följande uppgifter om sambandet mellan fuktkvoter och relativ luftfuktighet (dubbla värden p.gr. av fukthysteresis).

* Not : I BABS 1967 ändrat till 18 % resp. 85 % r.f.

<u>Fuktkvoter %</u>		Relativ luftfuktighet %			
Sort	32	65	80	90	
7 mm plywood	7,6	11,6	14,6		
	<u>6,9</u>	<u>13,2</u>	<u>16,4</u>		
	Mv 7,2	12,4	15,5	19,0	
10 mm spånskiva	7,0	9,2	11,2		
	<u>7,0</u>	<u>11,6</u>	<u>13,4</u>		
	Mv 7,0	10,4	12,3	14,5	
12 mm byggboard	4,6	8,0	11,0		
	<u>6,2</u>	<u>11,6</u>	<u>13,4</u>		
	Mv 5,4	9,8	12,2	14,6	
1/4" hård board	4,5	6,8	9,5		
	<u>5,9</u>	<u>10,4</u>	<u>12,2</u>		
	Mv 5,2	8,6	10,8	13,1	
1/4" oljehärdad	3,9	5,8	7,2		
	<u>4,5</u>	<u>7,9</u>	<u>8,8</u>		
	Mv 4,2	6,8	8,0	9,3	

Man undersöker därefter i figurerna 15 - 19 hur stor del av året skivorna uppnått och överskridit nyss framräknade fuktkvoter utomhus, inomhus, i kallgarage och kryprum. Då erhålles ett mått på varaktigheten av 'effektiv relativ luftfuktighet' på olika nivåer, vilket aldrig kan erhållas direkt ur dagliga mätningar av r.f. och temperatur. Resultat uppdelade efter lokaler :

Omålade skivors fuktighet överstiger effektiva r.f.-nivåerna under % av året

Utomhus	32 % r.f.	65 % r.f.	80 % r.f.	90 % r.f.
7 mm plywood	100	87	58	21
10 mm spånskiva	100	94	75	26
12 mm byggboard	100	87	45	0
1/4" hård board	100	77	7	0
1/4" oljehärdad	100	87	48	0

<u>Inomhus</u>	32 % r.f.	65 % r.f.	80 % r.f.	90 % r.f.
7 mm plywood	84	0	0	0
10 mm spånskiva	87	0	0	0
12 mm byggboard	71	0	0	0
1/4" hård board	46	0	0	0
1/4" oljehärdad	64	0	0	0

Kallgarage

7 mm plywood	100	94	29	4
10 mm spånskiva	100	100	58	0
12 mm byggboard	100	86	14	0
1/4" hård board	100	23	0	0
1/4" oljehärdad	100	88	12	0

Kryprum

7 mm plywood	100	100	100	91
10 mm spånskiva	100	100	100	100
12 mm byggboard	100	100	100	99
1/4" hård board	100	100	100	97
1/4" oljehärdad	100	100	100	99

Kommentarer till tabellen :

1. Plywood och spånskiva visar vid alla klimatstationer relativt högre fuktjämvikter än board. Vanlig hård board håller sig torrast.

2. Utomhus överskrider plywood under 21 % av tiden den fuktgräns BABS anger för virke, 90 % r.f.

Spånskivor ligger över samma gräns under 26 % av året.

Byggboard och oljehärdad board håller sig omkring 80 % r.f., medan den hårda boarden väsentligen legat under denna nivå.

3. Inomhus (i uppvärmda bostadshus) är bedömningen klar : Alla material kan räknas som för 65 % r.f., vilket bör ge marginal för sådana element som ligger något kallare än det egentliga inomhusklimatet, t.ex. vindsbjälklag.

4. Kallgaraget har hållit skivorna vid något lägre fuktkvot än utomhus.

Spånskivan ligger dock oftare över 80 % än under.

Boardsorterna når sällan upp till jämvikt vid 80 % r.f. Den hårda stannar snarare vid 65 % eller t.o.m. därunder.

5. Kryprummets klimat gör bärande konstruktioner av board och spånskivor olämpliga. Även för massivt virke måste räknas med reducerade påkänningar. Klimatet har visserligen blivit 5 á 10 % r.f. torrare, sedan marken täcktes med plastfolie, men även efter denna nödvändiga åtgärd har fuktigheten varit farligt hög tidvis.

Problemet att finna lämpliga koefficienter har därmed koncentrerats till konstruktioner utomhus samt i sådana ouppvärmda utrymmen som kallgarage och andra uthus. Enligt figur 22 håller sig målade skivors fuktkvot utomhus 1,5 - 2 % lägre och bör kunna räknas som för ouppvämt utrymme.

Kompletterande krypförsök utförda vid 73 % r.f. tyder på att skivornas E-moduler och kryp-egenskaper förändras måttligt mellan 65 och 80 % r.f., men att försämringen sedan går allt snabbare vid r.f.-värden upp emot 90 % och däröver. En direkt interpolering mellan 65 och 90 % skulle ge värden 'på säkra sidan', vilket beaktats vid nedanstående bedömning.

Förslag till koefficienter för 'typskivorna' vid $\sigma = 15\%$ av korttidslast :

Sort	R.f. eff. %	ϵ_0 %	α	k
<u>Utomhus, omålade</u>				
U-plywood	85	0,093	0,100	1,83
Spånskiva	90	0,062	0,053	2,47
Byggboard	80	0,065	0,172	2,26
Hård board	75	0,073	0,172	2,16
Oljehärdad	80	0,070	0,090	2,23

Sort	R.f. eff. %	ϵ_o %	α	k
<u>Utomhus, målade, och i kalla byggnader</u>				
U-plywood	80	0,090	0,090	1,80
Spånskiva	85	0,057	0,050	2,30
Byggboard	75	0,062	0,172	2,13
Hård board	70	0,070	0,150	2,14
Oljehärdad	75	0,068	0,082	2,16

Dessa värden och motsvarande för inomhusklimat (räknat som 65 % r.f.) ger följande sammanställning av ϵ_{tot} och E_{eff} efter lasttiderna 10^4 10^5 och 10^6 h

Sort	σ	$\varepsilon_{tot} \%$			E	10^3 kp/cm^2	
	kp/cm^2	10^4 h	10^5 h	10^6 h	10^4 h	10^5 h	10^6 h
<u>Inomhus</u>							
Plywood	66	0,11	0,14	0,18	60	47	37
Spånskiva	13	0,07	0,11	0,19	19	12	6,8
Byggboard	14	0,20	0,35	0,63	7,0	4,0	2,2
Hård board	33	0,25	0,45	0,88	13	7,3	3,8
Oljehärdad	42	0,15	0,25	0,46	28	17	9,1

Utomhus, omålade

Plywood	66	0,20	0,28	0,44	33	24	15
Spånskiva	13	0,18	0,36	0,80	7,2	3,6	1,6
Byggboard	14	0,36	0,72	1,56	3,9	2,0	0,9
Hård board	33	0,34	0,66	1,34	9,7	5,0	2,5
Oljehärdad	42	0,23	0,42	0,85	18	10	5,0

Utomhus, målade, och i kalla byggnader

Plywood	66	0,18	0,24	0,36	37	28	18
Spånskiva	13	0,14	0,24	0,48	9,3	5,4	2,7
Byggboard	14	0,22	0,53	1,06	6,4	2,6	1,3
Hård board	33	0,29	0,54	1,06	11	6,1	3,1
Oljehärdad	42	0,19	0,33	0,63	22	13	6,7

Ikke heller dessa tabellvärden kan utan vidare användas vid dimensionering och deformationsberäkningar. Man måste försöka bedöma den sannolika varaktigheten hos all rörlig last samt kontrollera, att deformationen ε ej når upp till materialets brottöjning.

Plywoodens längs-fanér har utgjort 4,1 mm av totala tjockleken 7,2 mm. Påkänning, E-modul etc. har kalkylerats som medelvärden av hela arean. Eftersom plywood kan vara uppbyggd på andra sätt, bör σ och E omräknas till att gälla enbart fanérsnitt i kraftriktningen. Tabellvärdena skall alltså multipliceras med $7,2 : 4,1 = 1,8$.

Vid långtidslast, t.ex. 10^5 h = 11,4 år, och måttlig luftfuktighet, t.ex. 80 % i kalla byggnader, skulle plywoodens längsfanér kalkyleras med $E = 1,8 \cdot 24\,000 = 43\,000$ kp/cm². Enligt BABS kan man för virke utsatt för långtidslast dock räkna med 70 000 kp/cm² upp till 90 % r.f. Om detta sistnämnda värde ej tillkommit p.gr. av felbedömning - vilket ej göres gällande eftersom de praktiska erfarenheterna varit goda - , har hänsyn tydligen tagits till rörliga lastens låga medelnivå. Som exempel kan nämnas snölast, vars varaktighet kanske är 25 % av året med medelintensitet 50 %, d.v.s. endast 12,5 % effektiv last ur kryp-synpunkt. Bjälklag i bostadsrum skall räknas för 150 kp/m², men den effektiva långtidslasten är nog av storleken 10 % därav.

Eftersom förhållandet mellan egenvikt och rörlig last kan variera inom vida gränser, kan man ej göra en generell uppräknings av E-värdena i tabellen. Rekommendationen måste bli mer detaljerad :

1. Beräkna krafter och moment av egenvikt plus full rörlig last.
2. Dimensionera efter 15 $\pm$ 20 % av skivmaterialens korttidshållfasthet.
3. Kalkylera med tabellens värden långtidsdeformationen för belastningar från egenvikt plus 15 % av rörlig last (eller den högre % som kan vara motiverad i det enskilda fallet).
4. Kontrollera att ε_{tot} av långtidslast räknad enl. pkt 3 ej uppnår följande riktvärden

för $\varepsilon_{\text{brott}} \% :$

	Inomhus	Utomhus
Plywood	0,5	0,7
Spånskiva	0,4	0,4
Byggboard	1,0	1,2
Hård board	0,6	0,7
Oljehärdad	0,6	0,7

Öka dimensionerna om ε_{tot} blir för högt med tanke på brottrisk eller acceptabla deformationer.

5. Beakta att stor och varaktig nyttig ('rörlig') last kan förekomma lokalt. Tunga hyllor och skåp utmed väggar ger stora punktlaster på golv och balkliv.
6. Specificera ej endast skiv-typ utan även kvalitet samt föreskriv ev. fuktskyddande målning, där så bedömes fördelaktigt.
7. Vid panelskjuvning räknas G analogt med E enl. tabellen och i proportionen $G = 0,4 \cdot E$.

Utöver de fem typskivorna har åtta andra moderna board- och spånskivor provats komplett även vad gäller långtidsbelastning. Resultaten skall ej diskuteras här - en del jämförelser har redan gjorts under hand - men bör bli till nytta vid de diskussioner som nu borde kunna inledas med Statens Planverk i syfte att få fram mer genomarbetade anvisningar för dimensionering av skivor i bärande konstruktioner.

6. ANDRA EGENSKAPER

I detta avsnitt skall lämnas en orientering om andra egenskaper hos skivorna än de hygroskopiska och mekaniska. Men redogörelsen blir summarisk på områden av mindre intresse för egentlig byggnadsteknik, t.ex. skivornas bearbetbarhet, ytjämnhet, målningsegenskaper etc., som däremot har dominerande intresse för snickeri- och möbelindustri.

BEARBETBARHET

Av erfarenhet vet man, att hård board, spånskivor och även plywood sliter mer än virke (furu och gran) på eggverktyg. Effekten märks tydligt på sågklingor men blir direkt besvärande vid fräsning t.ex. av kanter på skåpluckor och glasöppningar i dörrblad. Att hårt konsthartslim i spånskivor och plywood påverkar skärpan hos eggar förefaller naturligt - skilda limsorter har dock mycket olika inverkan - , men i board förekommer normalt inget lim som kan motivera slitaget. Där finns i stället förorenande, hårda sandpartiklar.

Trots övergång till hårdmetallskär kan förslitningen och dess följder i form av stopptider bli en överraskande stor kostnadspost, i vissa fall 10 - 20 % av priset för skivorna vid tillverkning av köksinredningar o.dyl. Därför har stora ansträngningar gjorts på senare år att dels förbättra skivorna, framförallt minska mängden föroreningar i board, dels finna mer ändamålsenlig teknik vid bearbetning.

Boardfabriken i Vrena utanför Nyköping, ägd av Holmens Bruks och Fabriks AB, införde sandavskiljning redan år 1951, och sedan dess har de flesta andra boardtillverkare följt efter. Reningen är numera mycket effektiv och sker i flera steg / 41 /.

Vid laboratoriet har sandmängd och bearbetbarhet rutinmässigt bestämts under en följd av år. Det har därvid visat sig, att sandkorn som kan passera silduk med maskvidden 0,04 mm har relativt ringa inverkan på eggverktygens skärpa.

Med ledning av denna erfarenhet har utarbetats ett normförslag för sandmängd-bestämning, som framlagts vid möte inom ISO TC 89 i oktober 1967 och där noterats för vidare diskussion. Metoden innebär, att ett uttaget boardprov inaskas, varefter askan tvättas i saltsyra och efter spolning med vatten silas genom nylonduk med maskvidden 40 u. Kvarvarande partiklar, huvudsakligen av kvarts, SiO_2 , väges efter torkning i varm luft, och vikten omräknad till mg föroreningar/kg board angives som 'sandmängd'.

Jämförelsen mellan sandmängd och bearbetbarhet har fordrat omfattande fräsprov utförda på olika sätt vid laboratoriet och som kontrollprov vid snickerifabriker. När fräsverktygens eggjar börjar förslöas, ökar de mekaniska påfrestningarna på boarden i snittytan. Fibrer ryckes loss i stället för att skäras av, och till slut stukas boardkanten. Detta kan ej accepteras i praktiken, varför stålet dessförinnan måste slipas om.

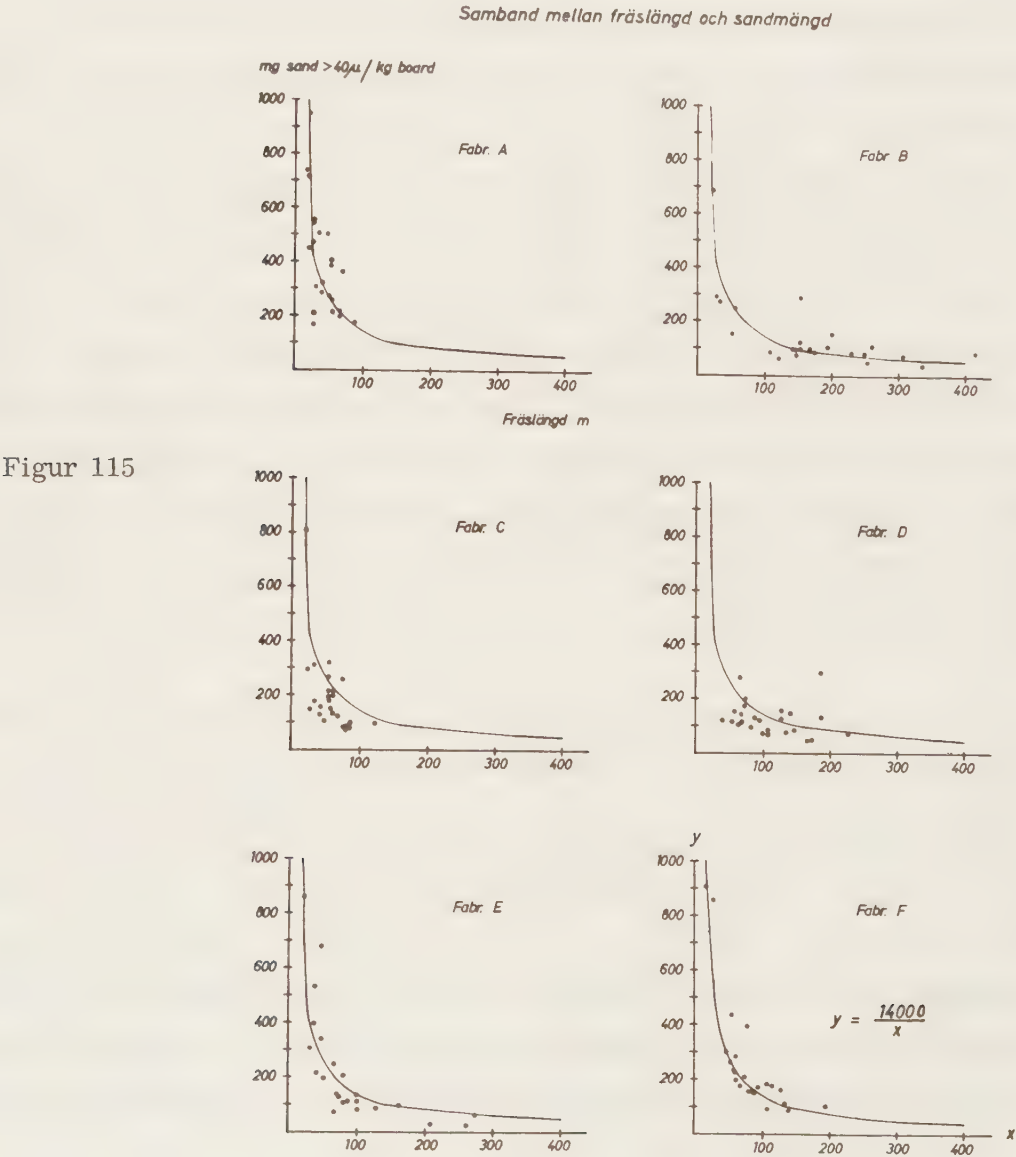
Ett mått på boardens bearbetbarhet blir den möjliga fräslängden före omslipning. Man kan tänka sig att i stället mäta eggens verkliga förslitning eller ökningen i fräsarbete (skär-motstånd), men detta ger icke ett rättvisande resultat eftersom skilda boardkvalitéer visat sig tåla mycket olika grad av oskärpa.

Den bedömningsmetod som hittills visat sig bäst mäter och anger antalet löpmeter fräslängd, när boardkantens stukning medfört 0,8 mm tjockleksökning. Många faktorer inverkar på ett sådant prov, varför specificerats frässtålets kvalitet och diameter, antal eggjar, eggvinklar, varvtal, fräsdjup i boarden, matningshastighet och fuktförhållanden.

Även denna metod har presenterats för ISO men i medvetande om att den icke alltid ger en rättvis bedömning av bearbetbarheten hos board. Det är nämligen så, att vissa förändringar av bl.a. eggvinklar kan inverka olika på skilda boardsorter. Sådana med mycket tätt och hårt ytskikt är särskilt ömtåliga vid fräsning. Oskarp egg medför uppfläkning av ytskikten. Problemet studerades vid laboratoriet med hjälp av stroboskop, och en enkel lösning kunde nästan genast presenteras uppdragsgivaren: Om fräsverktygets egg snedslipas, så att en kraftkomposant trycker ned boardens ytskikt, motverkas spjälkningen, och den möjliga fräslängden kan för vissa

kvalitéer 20-dubblas. Fortsatt framgångsrik utveckling pågår nu på flera håll / 42 / .

Figur 115 visar sex exempel på sambandet mellan fräslängd och sandmängd, båda bestämda enligt de metoder som ovan föreslagits för normering. Uppenbarligen tål vissa boardfabrikat mer sand med bibehållen fräslängd. Fabrikat B har ett gynnsamt förhållande, C däremot ett ogynnsamt. Inritade kurvor i diagrammen A - E är alla lika och utgör medellinje för alla sex fabrikaten. Kurvan i diagram för fabrikat F är snarlik och utgör hyperbeln $y = \frac{14000}{x}$, där y = mg sand/kg board och x = löpmeter fräslängd.



Figur 115

YTJÄMNHET

För mätning av ytjämnhet - eller snarare ytojämnhhet - användes ibland profilografer av olika utförande. I princip består de helt enkelt av en mätspets som på en gejd vandrar i sidled över den studerade ytan och avkänner dess ojämnheter. Efter förstärkning registreras mätspetsens rörelser av någon skrivare. Metoden har fördelen att ge direkt besked om ojämnheternas höjd, utbredning i sidled och form. Men det finns också några nackdelar :

Skrivande profilografer är dyrbara, fordrar kalibrering och kvalificerad skötsel.

Mäthastigheten är låg.

Utvärdering av erhållna kurvor kräver speciella räkneverk e.dyl. för att göras objektiv.

För mätning av ytjämnhet hos papper och kartong har den danske forskaren Bendtsen utvecklat en metod, allmänt använd sedan länge men formellt accepterad som skandinavisk norm först i april 1967, / 43 / . Definitionen lyder : "Ytråhet hos papper definieras som den volym luft som per tidsenhet på grund av specificerad tryckskillnad strömmar ut mellan papperets yta och en plan metallring, som vilar på papperet och utövar ett fastställt tryck på detsamma." Man mäter alltså den luftmängd, som hinner passera genom en spalt begränsad av den studerade, något ojämna ytan och en mot denna anliggande plan yta eller kant.

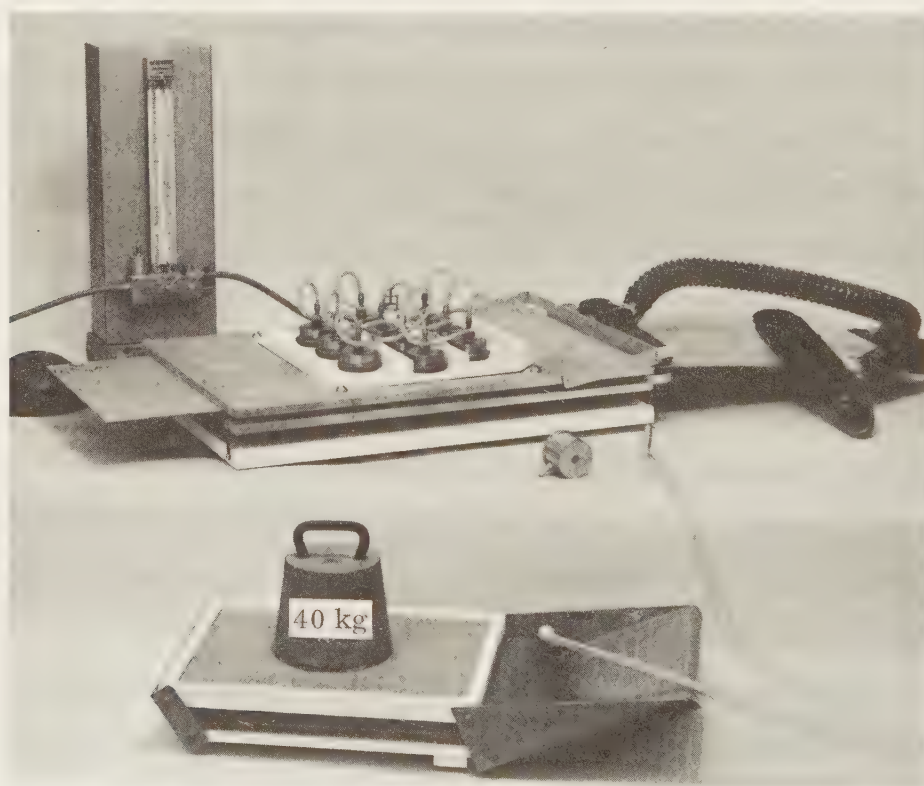
Försök vid laboratoriet 1957 visade, att Bendtsen apparaten ej utan vidare kunde användas på board. En mängd varianter av det ordinarie mätmunstycket tillverkades och provades. En modifikation visade sig ge överensstämmelse med synintrycket av boardytans ojämnhhet vid besiktning i speglade motljus. Till skillnad mot originalmunstyckets plana metallring hade det nya mät huvudet en helt plan anliggningsyta med diametern 50 mm och ett centralt hål $\varnothing$ 10 mm för lufttillförsel.

Vid mätningarna på board måste dess slätsida hållas perfekt plan för att ev. välvning ej skulle påverka luftflödet mellan munstyckets plana yta och den icke

fullt ytjämna boarden. En särskild fixtur utvecklades för detta ändamål.

Metoden, som finnes utförligt beskriven / 44 / , har blivit allmänt accepterad inom svensk boardindustri. Under senare år har något dussin apparater placerats även vid utländska board- och spånskivelaboratorier. Förslag om normering har framlagts för ISO TC 89 under 1967.

Trots att Bendtsen apparaten arbetar mycket snabbare än profilografer och direkt ger ett siffervärde (ml/min) som mått på ytojämnheten, har det visat sig önskvärt att ytterligare öka mät hastigheten vid rutinprovning av board. Variationerna över arkets yta och mellan skilda ark kan nämligen vara betydande, varför provtagningen bör göras riklig. Därför har en ny, förbättrad fixtur konstruerats. Den har bl. a. halvautomatisk damm-avsugning samt arrangemang för mätning med 10 parallellkopplade munstycken samtidigt. Utrustningen visas i figur 116.



Figur 116 Bendtsen-apparat med luftkuddemanövrering från fotpedal.

Som tidigare visats i avsnittet 'Sorptions och Fuktrörelser' medför fuktväxlingar kvarstående tjocklekssvällning hos board och spånskivor. Detta beror på s.k. 'fiberresning', och den effekten utvecklas ojämnt över ytan beroende på variationer i fiberstrukturen, de enskilda spånens tjocklek etc. Konsekvensen blir, att skivans ytjämnhet successivt försämras av klimatväxlingar, och graden av försämringen är av stor praktisk betydelse. Liksom vid hygroskopiska fuktrörelser kan man för ytstabilitet skilja mellan reversibla och irreversibla effekter. De ger relationen mellan ytjämnhet vid 90 % r.f. och vid efterföljande 65 % r.f. hos skivan, respektive ytjämnhet vid 65 % efter och före fuktning till 90 % r.f.

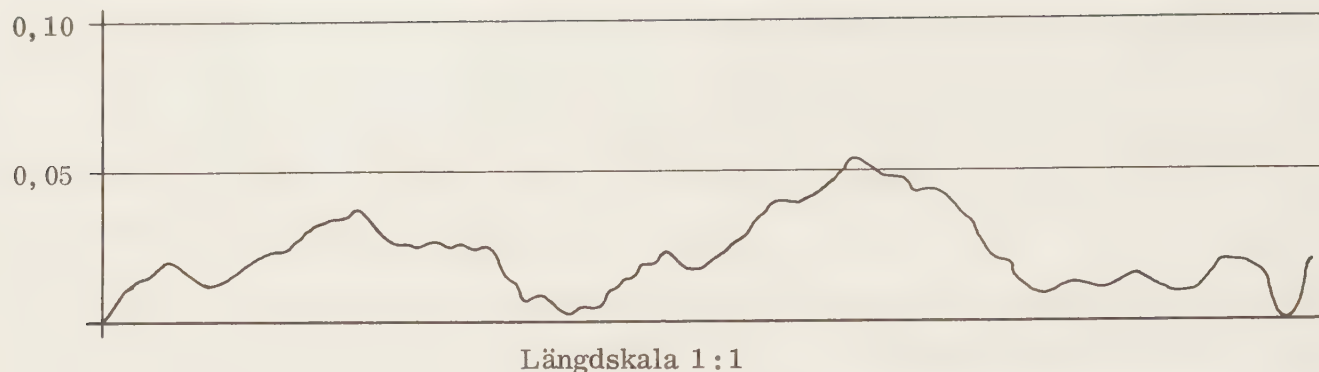
Några riktvärden :

Skiva	Ytjämnhet (luftmängd) ml/min	Ytstabilitet	
		Reversibel (kvot 90 : 65 r.f.)	Permanent (kvot 65 : 65 r.f.)
1/8" hård board standardkvalitet	15 - 70	1,1 - 1,7	1,8 - 3,0
1/8" hård board yttätad för lackering	10 - 20		
1/8" hård board ytputsad	0 - 10	---	---
Spånskivor ⁺ av standardkvalitet	0 - 10	3 - 8	~ 2

⁺ (Vid mätning på spånskivor är det normalt nödvändigt att lägga en 0,05 mm tjock polyetenfolie över ytan för att eliminera inverkan av repor från sandputsning).

Avslutningsvis kan sägas, att den speciella Bendtsen apparaten för board visat mycket god överensstämmelse med profilograf-mätningar. De sistnämnda kan passa bra för forskningsändamål eftersom de ger mer ingående upplysningar om ytans utseende, men Bendtsen-metoden lämpar sig bättre för rationell rutinprovning.

mm ytojämnhet



Ytprofil hos 1/8" hård board av standardkvalitet.

MÅLNINGSEGENSKAPER

Träfiberskivor ger ett utmärkt underlag för målning med praktiskt taget alla sorters färger. Frågan är om något annat material lämpar sig så bra för ytbehandling. Detta beror på att den mikroporösa strukturen ger gott fäste samt att boardens fuktrörelser i planet är små och ej förorsakar sprickbildning hos åldrande, spröda färgskikt / 12 / .

Spånskivor av hittills vanlig kvalitet har visserligen också god dimensionsstabilitet men mycket sämre yta med porer och andra lokala ojämnheter. Under 1967 har dock skivor med fiber- eller pappersbelagd yta kommit på marknaden, vilket innebär en avgjord förbättring och onödiggör spackling eller liknande förbehandling.

Plywood är trots sin goda stabilitet mycket svår att ytbehandla, i varje fall om ytfanären är av furu och björk och svarvade med normal tjocklek. Även om ytan noggrant behandlas upprepade gånger med högklassiga färger, kommer fuktväxlingar snart att förorsaka mängder med fina sprickor.

Vid industriell ytbehandling, som blir allt vanligare vid tillverkning av exempelvis kökssnickerier, önskar man färdigställa lackeringen med minsta möjliga färgmängd och antal arbetsmoment. Låg färgsugning hos skivorna är därför eftersträvarsvärd, och denna egenskap skall bibehållas även sedan ev. erforderlig sandputsning av ytan genomförts i syfte att få perfekt ytjämnhet.

Sedan länge har tillverkats hård board ytbelagd med slipmassa, vilket ger en ljusgul yta (boarden kallas ibland 'ivory'), som är lättmålad men ofta användes utan ytbehandling. Merkostnaden för slipmasseyta är blygsam (ca 0:10 kr/m²) i jämförelse med besparingen vid målning. En viss nackdel är, att boarden förlorar något av sin ljusa färg om värmehärdning utföres ordentligt. Dessutom har slipmasseskiktets förankring i underlaget ibland varit dålig.

Vid Sv. Cellulosa AB:s boardfabrik i Kramfors togs år 1957 ett principiellt viktigt steg framåt vad gäller boardens målningsegenskaper. Man började nämligen lägga ett tunt men tätt, impregnerat pappersskikt på det våta fiberarket före press i direkt avsikt att reducera färgsugningen hos den färdiga träfiberskivan. Trots att ytjämnheten hos boarden, som döpts till 'ESCA', ej alltid var den bästa, och det tunna ytskiktet icke tålde sandputsning, blev kvalitén en uppskattad föregångare. Den produceras fortfarande men nu i konkurrens med en rad andra fabrikat, där speciellt täta ytskikt av ca 0,4 mm tjocklek byggts upp av finmald, ev. halvkemisk massa. Den kan innehålla speciella tillsatser för att ytterligare reducera fiberresning vid sandputsning och färgsugning vid målning. Sådana kvaliteter marknadsförs under beteckningen 'yttätad board' eller 'densified surface hardboard'.

Ur snickerifabrikenas synpunkt är boardens målningsegenskaper av större ekonomisk betydelse än någon annan egenskap inklusive dess bearbetbarhet. En mätmetod för färgsugning och fiberresning är därför önskvärd.

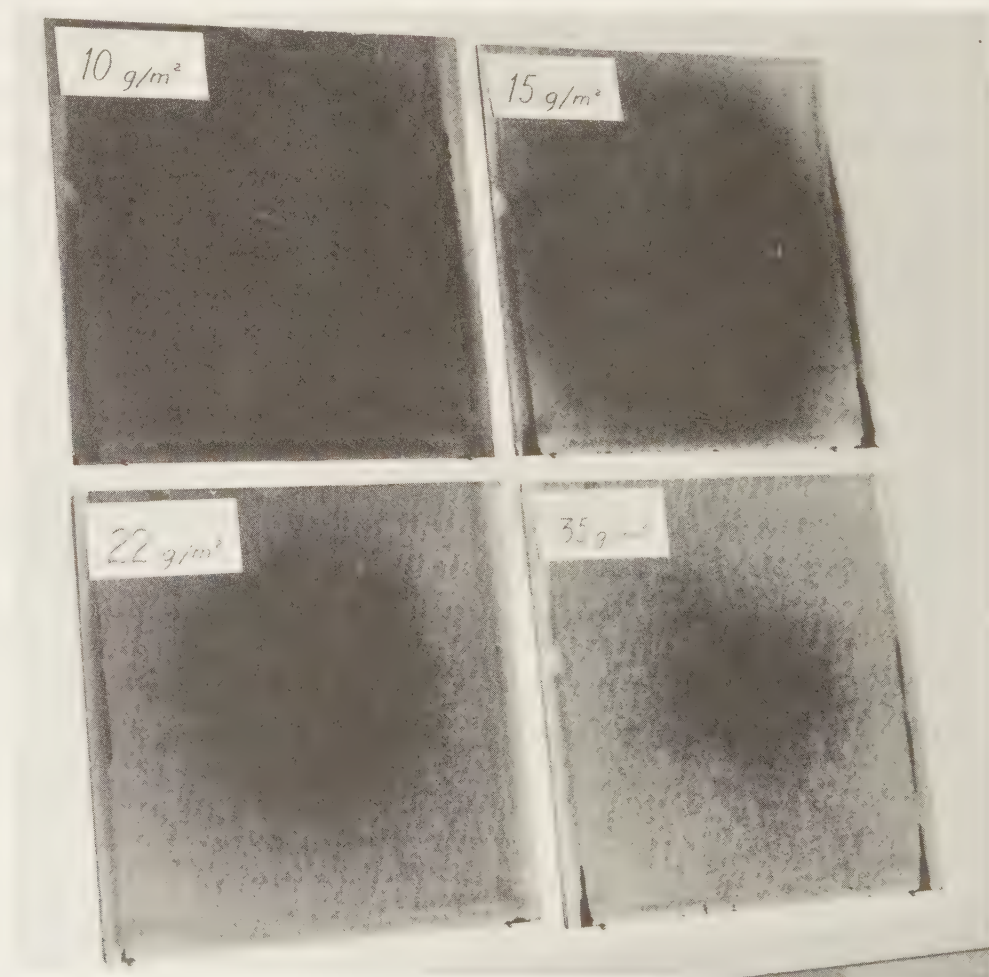
Förberedande undersökningar vid laboratoriet har i de flesta fall visat samband mellan färgsugning och luftgenomsläpplighet hos boarden. Sådan mätning ger dock icke utslag för porer i boardytan, där färgen sugns ner och bildar kratrar. En mängd försök har gjorts med rörformade miniatyr-munstycken ϕ 1,5 -

3 mm kopplade i grupper om 10 st till Bendtsen apparaten i förhoppning att enstaka porer med statistisk säkerhet skulle råka hamna under kanten på något munstycke och där förorsaka radikalt större luftgenomgång. Tanken har visat sig riktig. Med en diameter av ca 8 mm hos rören - eller hellre tunna ringar med elastisk följsamhet vid anliggning mot oplan yta - samt skarp kant erhålles rätta proportioner mellan luftläckage p.gr. av porositet och ytporer, så att målningsegenskaperna kan bedömas redan efter några minuters mätningar.

Emellertid har apparaten bedömts vara för ömtålig för rutinmässig användning, varför metoden t.v. övergivits. Ansträngningarna har i stället koncentrerats till att efterlikna praktisk målning på något enkelt, reproducerbart och mätbart sätt, och detta har visat sig lättare. Principen är enklast möjliga : En för bedömning lämpad färg sprutas med fast färgpistol mot den studerade ytan under kontrollerade betingelser, varefter diametern mätes på den centrala del av färgfläcken, där en heltäckande, porfri färgfilm erhållits. Från ett jämförelseprov sprutat mot aluminiumfolie bestämmes den specifika färgmängden (g/m^2) vid

Figur 118

Olika boardsorter
provsprutade med
samma färgmängd.
Uppmätt färgsugning
angiven på etiketter-
na.



randen av den uppmätta, acceptabla färgytan. Därmed erhålles ett mått på minimalt erforderlig färgmängd vid engångsbehandling av den provade skiv-kvaliteten.

Vissa färgtyper, t.ex. hårdlack, är särskilt benägna att sugas in i porer och ge kratrar. Andra ger mindre sugning men har nackdelen att resa alla lösa fibrer i ytan, så att den färdiga ytan ser ut att ha torkat i dammig atmosfär. Polyesterlack brukar ha den egenskapen. Alkyd- och cellulosalack ger både fiberresning och kratrar. Med alkyd erhålles med måttlig färgmängd en blank yta, som underlättar utvärdering av resultatet.

Efter jämförande prov med ovannämnda färgtyper, ett stort antal board-sorter samt 'punktsprutning' i laboratorium och industriell lackering både med spruta och ridåmaskin, har ett normförslag utarbetats vid laboratoriet. Det presenterades vid ISO-mötet i oktober 1967 och noterades för vidare studium.

Förslaget innebär i korthet, att svart, blank alkydlack av viss komposition och med viskositeten 25 Fordsekunder (70 centipoises) vid 20 °C sprutas med en Greiff sprutpistol typ GFG, munstycken 36 - FF, (eller motsvarande) under 4 sekunder mot den provade skivan. Denna skall placeras i sprutbox och på 80 cm avstånd från den fast monterade pistolen. Lufttrycket skall vara 3 at ö. Torkning sker vid 70 °C 8 h i torkskåp. Jämförande prov utföres på aluminium-folie för uträkning av sprutfläckens färgfördelning (en viss fördelning skall eftersträvas) och därefter bestämning av minsta täckande färgmängd.

Hos ytputsad board med ytjämnhetsvärdet 5 ml/min eller därunder kan ett direkt mått på fiberresningen erhållas genom förnyad ytjämnhetsmätning efter 'punktsprutning' enl. ovan.

En boardkvalitet kan anses vara mycket lämpad för industriell målning om färgsugningen mätt enligt metoden ovan är högst 20 $\pm$ 25 g/m². Boarden bedömes som putsbar om dess ytjämnhet efter putsning är högst 5 ml/min, och värdet ej ökar mer än 7 ml/min vid mätning på viss del av punktsprutad yta.

Några riktvärden :	Färgsugning g/m ²
1/8" hård board, standardkvalitet	23 - 75
1/8" hård board, yttätad	10 - 22
Byggboard	40 -100
Spånskivor *, standard	100 -300
Spånskivor med fiberyta	50 -150

*Betr. ytbehandling av spånskivor hänvisas till / 45 /.

MOTSTÅND MOT SVAMPANGREPP

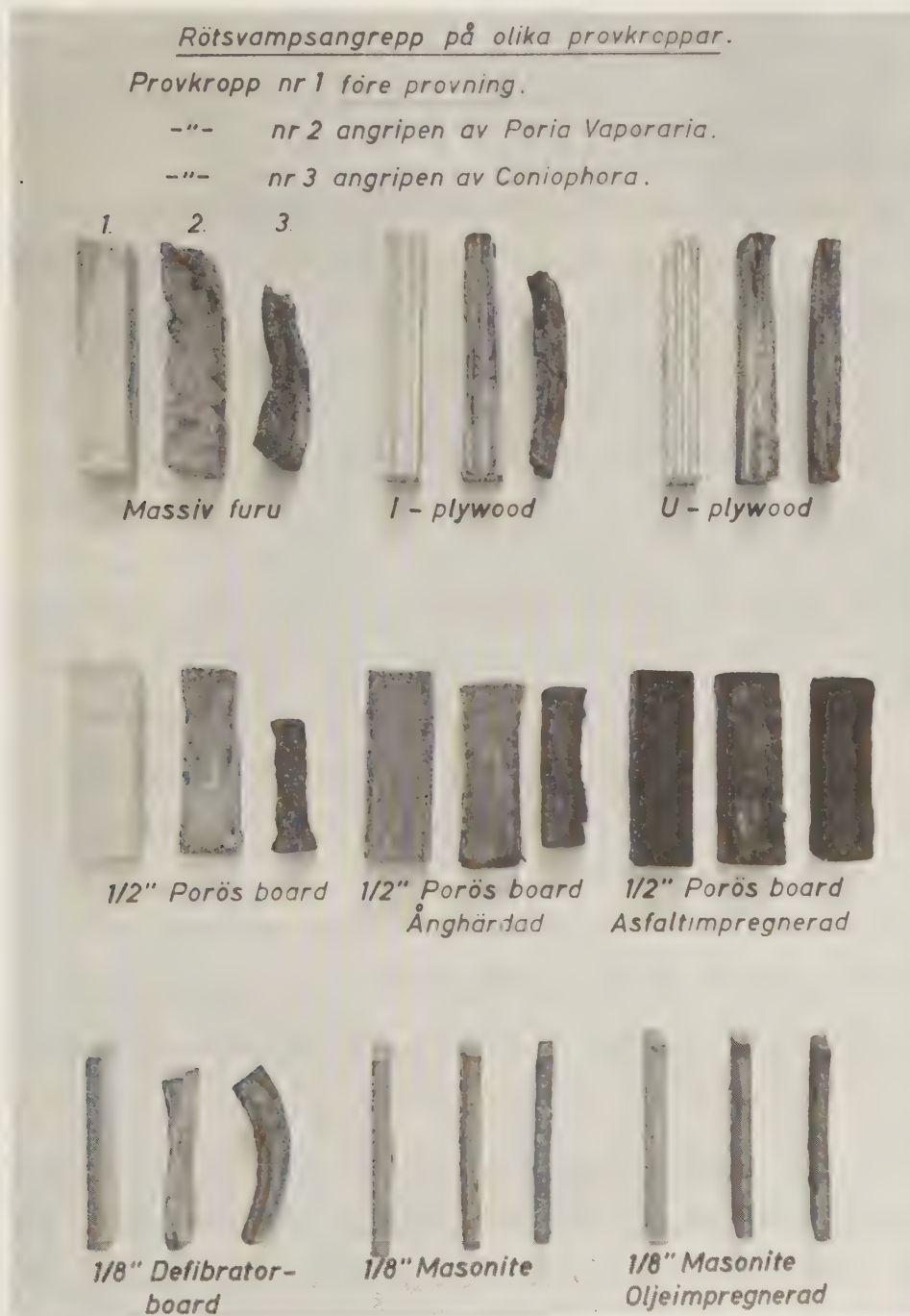
Angrepp från mikroorganismer, svampar och insekter på virke av olika slag har studerats ingående av många forskare / 15 /. Även skivor har provats, och en lång rad rapporter har publicerats i fackpressen. En av de först presenterade var B Schulzes undersökningar / 46 /. Här skall icke göras någon sammanfattning av litteraturen på området utan bara några grova jämförelser mellan virke och skivor av olika typ. Följande punkter är baserade på preliminära iakttagelser vid laboratoriets rötprovning och allmän, praktisk erfarenhet :

1. Värmebehandling av trä förbättrar dess motstånd mot rötsvampar. Effekten blir markant om temperaturen uppnått 160 - 165 °C .
2. I-plywood limmad med karbamidharts är jämförbar med massivt virke, men fenollimmad U-plywood motstår rötangrepp betydligt bättre.
3. Porös board har stor kontaktyta och angripes snabbt. Härdning i ånga vid 200 °C ökar motståndskraften men ej lika mycket som asfaltimpregnering.
4. Defibratorboard är i praktiken betydligt bättre än virke men sämre än Masonite. Detta beror på skillnader i hygroskopiska egenskaper (fuktjämvikt) och halt

av hemicellulosa.

5. Oljeimpregnerad (oljehärdad) Masonite har mycket god beständighet.

Figur 119 redovisar två av laboratoriets 3 månader långa provserier.



Figur 119

Träfiberskivor kan impregneras mot röta, men det är helt onödigt i alla någorlunda normala klimat. Enligt uppgift äter sig termiter m.fl. insekter genom hård board men livnär sig icke på värmebehandlade träfiberskivor, varför skyddsimpregnering även ur den synpunkten är tämligen överflödig.

Spånskivor är jämförbara med plywood. Motståndsförmågan beror sålunda mest på valet av limtyp. Med pentaklorfenol o.dyl. erhålles effektivare rötskydd än genom fenollimning, men det sistnämnda kan av andra skäl behövas, där fuktigheten är hög nog för svampangrepp.

Vid klimat-undersökningarna i kryprum erhöll endast spånskive-proverna beläggning av mögelsvampar. De förorsakar ej direkt röt-skador men medför ökad fuktkvot, vilket kan underlätta senare angrepp av rötsvampar.

BRANDEGENSKAPER

Boardens brännbarhet har ofta diskuterats. Man har sagt, att den porösa ger mycket snabb flamspridning p.gr. av sin öppna fiberstruktur, och att den hårda brinner explosionsartat, vilket skulle bero på snabb genomvärmning och därmed hastig gasavspaltning. Sådana påståenden är knappast välgrundade. Sällan lämnas någon porös board utan tätande ytbehandling, och den hårda har t.o.m. något lägre värmeledningstal än virke.

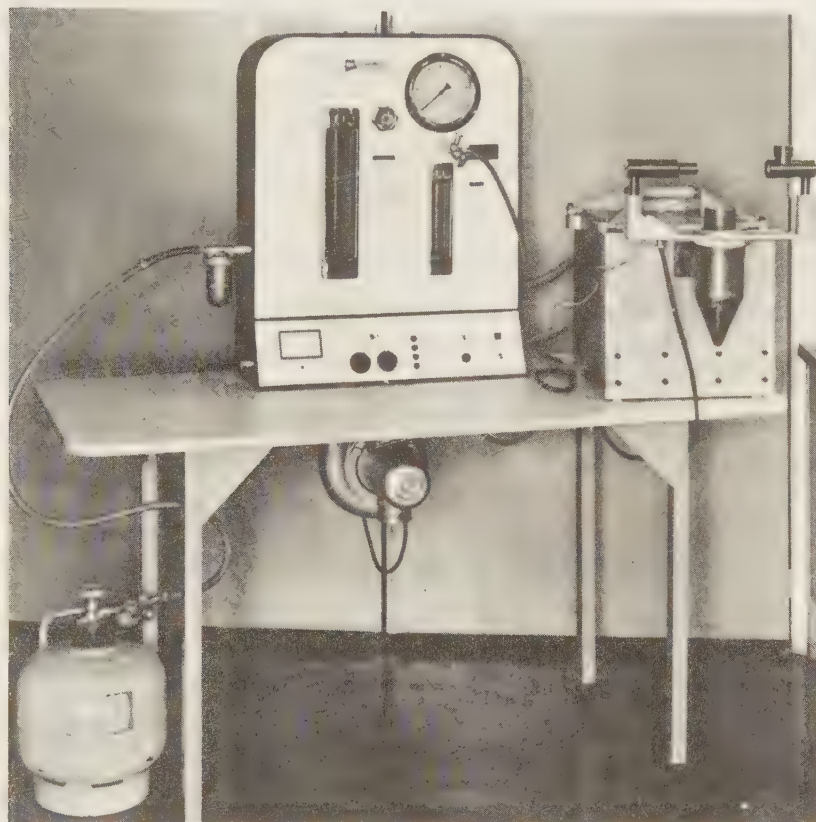
Men onekligen är frågorna av stor byggnadsteknisk betydelse, varför en omfattande forskning bedrivits för att få fram dels lämpliga provningsmetoder, dels brandhämmande medel för impregnering eller ytbeläggning av board och även andra brännbara skivor. / Litt. 47 48 /.

Man kan anlägga många synpunkter och mått på ett materials brandfarlighet : Antändningstemperatur, flamspridning över ytan, temperaturutveckling vid arrangerad brand, rökutveckling etc. De provningsmetoder som framkommit i skilda länder har haft olika inriktning och lämnar ej jämförbara värden. Någon internatio-

nell standard finnes ännu icke. I Sverige användes vanligen den s.k. 'lådmetoden' eller 'Statens Provningsanstalts metod' / 49 / som också ligger till grund för den officiella brandklassificeringen av här ifrågavarande skivmaterial; Figur 120.

Figur 120

T.h. brandlådan,
i mitten instru-
mentering.



Enligt 'lådmetoden' inklädes sidor och tak i en obrännbar låda med skivor av det material som skall provas, varefter en kalibrerad gaslåga tändes inne i lådan. Under provet, som pågår i 5 minuter, inblåses en kontrollerad luftmängd så att förbränningen vidmakthålles. Den avgående rökgasens temperatur avläses fortlöpande, så att en tid/temperatur-kurva kan uppritas och jämföras med givna gränskurvor för skilda klasser av brännbarhet. Dessutom mätes rökintensiteten med en ljuskänslig cell belyst av ett strålnippe, som först fått passera genom rökgasen.

Denna metod visar inga stora skillnader mellan board av olika densitet och virke av furu eller ek. För porös board ökar temperaturen visserligen något snabbare men är redan efter 1 minut densamma som för furu. Efter 2 minuter

visar den porösa boarden lägre temperatur än de tre andra materialen, som då ligger lika. En utjämning mellan samtliga sker sedan fram till tiden 5 minuter. Ungefär samma förlopp erhålles med spånskivor samt med vanliga gipsskivor om de är belagda med tre lager tapet.

En gynnsammare temperaturutveckling kräves för att boarden skall betecknas som 'flamhärdigt ytskikt' (klass II) och få användas som ytmaterial i rumsskiljande väggar i större bostads- eller kontorsbyggnader. För beteckningen 'flamsäkert ytskikt' (klass I) fordras en mycket betydande förbättring. Numera finnes dock på marknaden byggboard som med god marginal klarar kraven för klass II. Sådana kvaliteter erhålles genom viss impregnering av de fuktiga fiberarken före varmpressning vid fabrikationen. Flamhärdig board brukar vara mer hygroskopisk än den vanliga samt något sprödare, men den tål stötar bättre än gipsskivor trots lägre vikt.

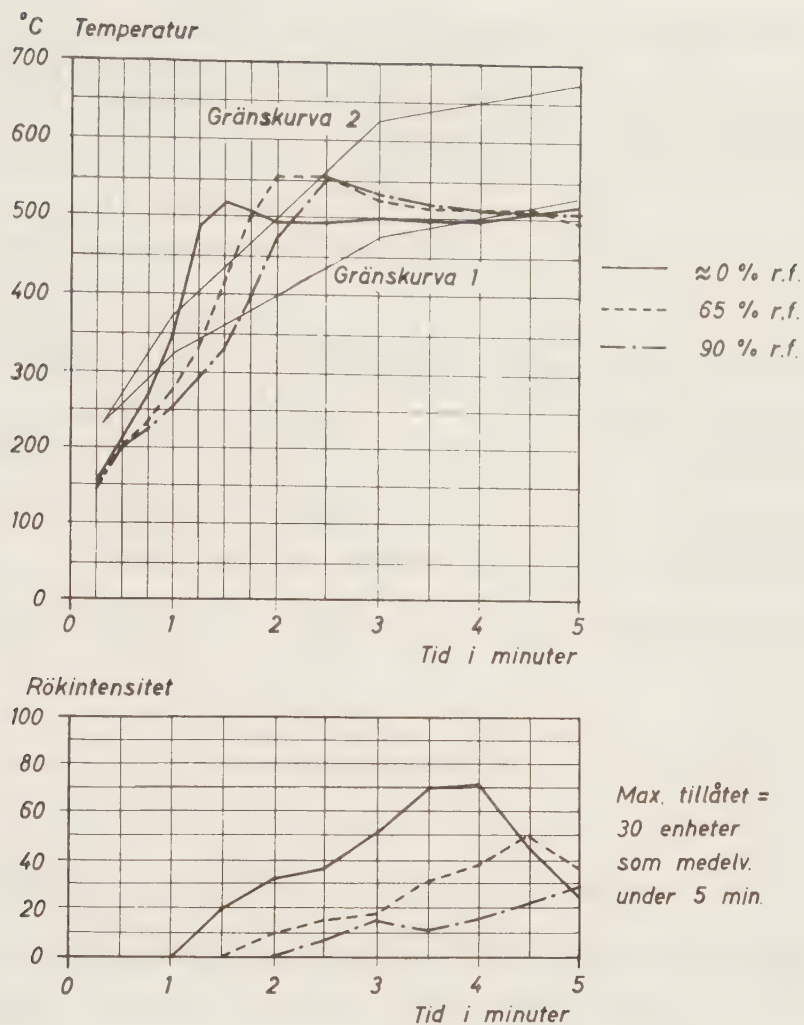
Den svenska provningsmetoden föreskriver, att skivorna skall konditioneras i minst 4 veckor vid $65 \pm 5\%$ r.f. Eftersom resultatet av en sådan konditionering dock kan bli avsevärt beroende av fukthysteresis, har en del kontroll-försök utförts vid laboratoriet dels med skivor av radikalt olika fuktighet, dels med skivor som fuktats grundligt med vatten före lagring i 65% r.f.

Skillnaden blev i det första fallet mycket stor, se figur 121. Konditionering i 90% r.f. gav resultat bättre än vad klass II föreskriver både för temperatur och rökintensitet. Helt torr $1/8''$ board tände desto snabbare och gav en temperaturkurva som för porös board vid normal provning.

Även försöken med hysteresis-påverkad fuktighet gav utslag för skivornas olika fuktinnehåll, men skillnaderna blev relativt små och kunde bara i gränsfall ha medfört ändrad klassning. Om emellertid konditioneringstoleransen $\pm 5\%$ r.f. dessutom utnyttjas helt, blir mätresultaten missvisande.

Materialens fuktighet har i praktiken stor betydelse, vilket föranlett en amerikansk utredning / 50 /. Eldsvådor utvecklas häftigare vintertid p.gr. av lägre fuktighet i material inomhus samt något ökad skorstensverkan.

Figur 121



ÅLDRING

Under laboratoriets mångåriga verksamhet har rikliga tillfällen givits att kontrollera hur skivor åldrats under skilda förhållanden. Upprepad provning har skett av board som lagrats flera år vid konstant normalklimat och av skivor mer eller mindre systematiskt exponerade för fuktcykler, klimatväxlingar utomhus o.s.v. Endast en sammanfattning av därvid gjorda iakttagelser skall redovisas här.

1. Lagring i konstant normalklimat.

Under 5 år har 16 kvalitéer av hård 1/8" board lagrats i mörkt rum med normalklimat. Förnyad provning visade följande förändringar (medeltal för 16 sorter) :

	Tidpunkt		Relation 5 år : 0 år
	0 år	5 år	
Vattenabsorption % (doppning 24 h)	19,5	24,7	1,27
Svällning % (doppning 24 h)	13,3	15,2	1,14
Böjhållfasthet kp/cm ²	431	424	0,98
Brottlast kp/cm ²	4,1	4,0	0,98

Kvantiteten provat material av varje sort har varit liten och ger ej underlag för bedömning av de enskilda kvalitéerna och spridning dem emellan. Huvudgrupperna 'standard' och 'snickeri-kvalitet' visar sinsemellan ingen skillnad i åldring.

För en annan, betydligt mindre provserie har töjningen vid korttidslast och efter 24 h belastning uppmäts före och efter en lagringstid av 5 år. Hård 1/8" board visade ingen skillnad alls. E-modulen hos plywood hade ökat ca 10 % och hos en spånskiva omkring 30 % . Resultaten för plywood och spånskiva redovisas med reservation eftersom endast några få remsor mätts.

2. Exponering utomhus.

Omålade skivor av 1/8" hård board och 1/2" asfaltimpregnerad porös board har monterats utomhus fritt exponerade för väder och vind. Efter 1 år har en första grupp tagits in, konditionerats vid normalklimat och provats.

Vattenabsorptionen har i allmänhet ökat högst avsevärt, t.ex. från 20 till 30 % vid doppning 24 h. Svällningen vid doppning har däremot minskat något, vilket beror på att fuktväxlingarna under året utlöst stor kvarstående tjockleksökning.

Böjhållfastheten har gått ned till ca 75 % av utgångsvärdet, vilket även gäller tvärdraghållfastheten.

P.gr. av den kvarstående tjocklekssvällningen har den hårda boardens densitet reducerats med ca 3 %.

Andra provserier med hela skivor 4' x 8' av defibratorboard monterad på skärmar utomhus har efter 7 år visat helt obetydlig tjockleksökning hos hård board vid droppnäsan nedtill. Målad 12 mm byggboard har vid nederkanten svällt 0,7 mm efter 3 år.

Några extrema prov med hård board nedgrävd i marken under 7 år resulterade i yt-skador från rötter och maskar, men efter konditionering i normalklimat kvarstod ca 50 % av skivornas böjhållfasthet.

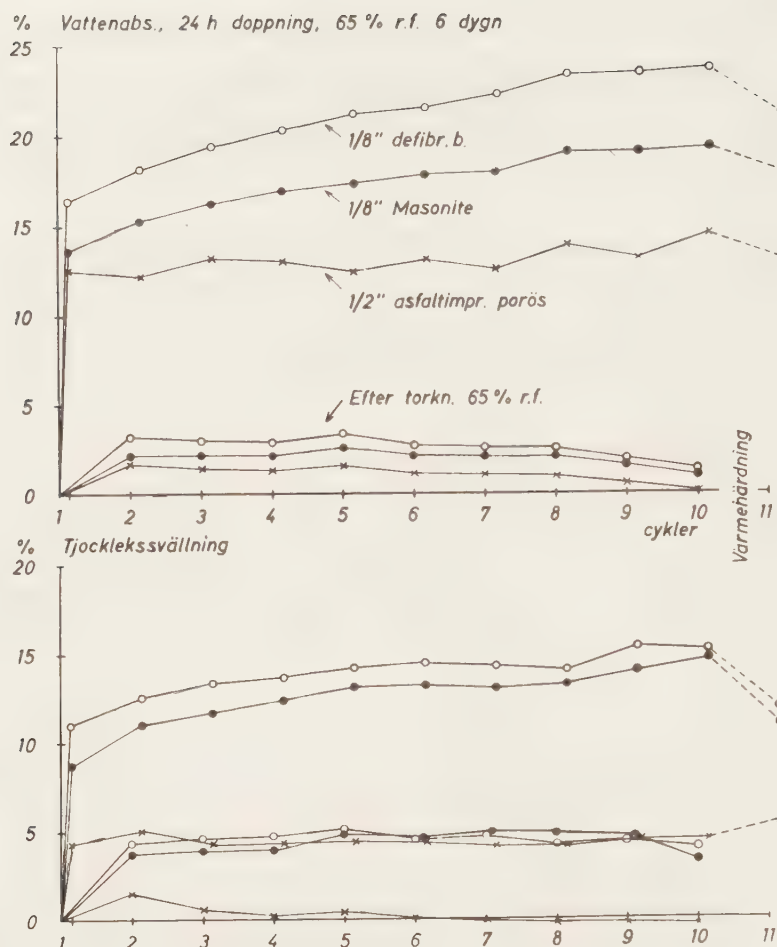
Vanliga, karbamidhartslimmade spånskivor tål ej utomhusexponering utan regnskydd i form av tak eller vattenavvisande ytbehandling.

3. Upprepad vattendoppning.

För att undersöka vad som förorsakat försämringen i hydrofoba egenskaper hos utomhus exponerade skivor enligt pkt 2 ovan har provkroppar av tre snarlika kvaliteter vattendoppats upprepade gånger och däremellan torkats på olika sätt.

Figurerna 122 och 123 visar absorption och svällning vid 24 h doppning samt kvarstående övervikt och tjockleksökning efter torkning antingen i normalklimat under 6 dygn (fig. 122) eller i 103 °C 16 h och därpå normalklimat under ca 5 dygn (fig. 123). Efter 10 sådana cykler har alla provkroppar värmebehandlats i luft 165 °C 3 h, varefter förnyad fuktkonditionering i 65 % r.f. och en 11:e doppning skett.

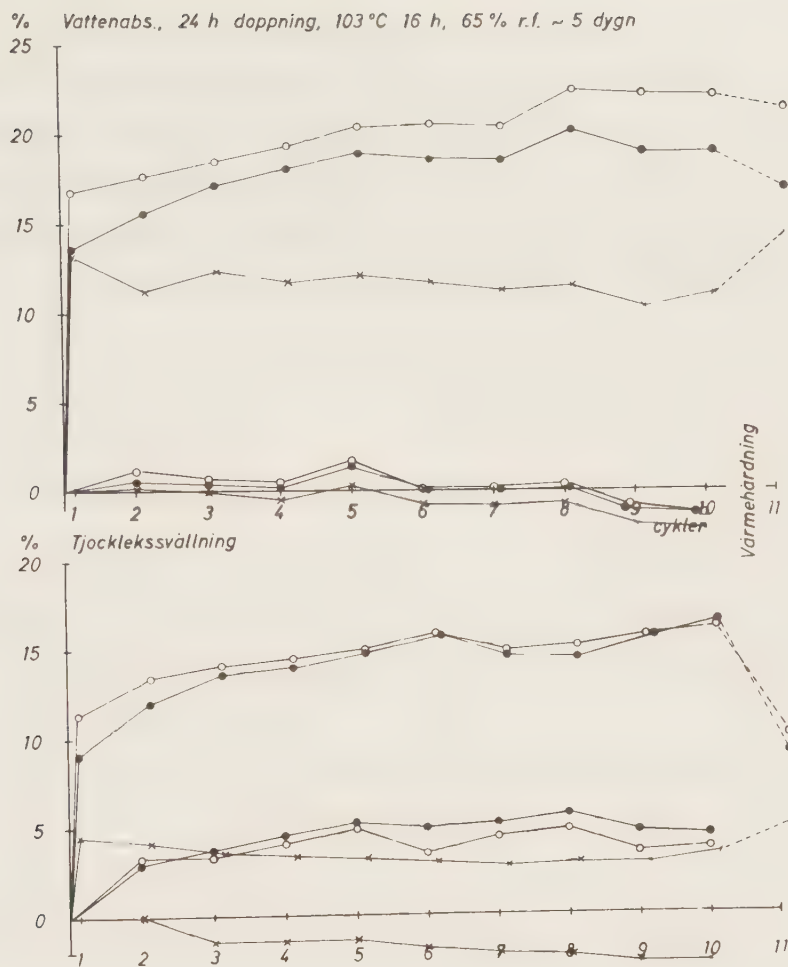
Figur 122



Diagrammen visar successivt ökande absorption och svällning för den hårda boarden men tämligen oförändrade värden för den asfaltimpregnerade porösa, som är värmehärdad vid extra hög temperatur i överhettad ånga (se följande kapitel). Efter 10 cykler har absorptionen ökat med närmare 50 % för 1/8" hård, d.v.s. som vid exponering utomhus under ett år. Även tjockleken tilltager om den räknas från utgångsvärdet, men däremot blir svällningen för t.ex. 6:e cykeln mindre än för den 1:a om i båda fallen räknas med utgångsvärdet före doppning i respektive cykel. Också detta stämmer med proven utomhus.

Man observerar f.övr. att den kvarstående viktökningen avtager undan för undan, vilket torde bero på urlakning av vattenlösliga ämnen i boarden.

Figur 123



Den avslutande värmebehandlingen i 165 °C, som för den hårda boarden varit lika kraftig som vid fabrikationen, har icke helt förmått återställa 1/8" skivornas ursprungliga egenskaper. På den ånghärdade asfaltboarden har värmebehandlingen mellan 10:e och 11:e cykeln inverkat försämrande, vilket är överraskande.

4. Inverkan av solljus.

Samma boardsorter som provats genom upprepad vattendoppning har placerats horisontellt utomhus insvepta i plastfolie. Efter fri exponering för solljus under en månad har de exponerade sidornas vattenabsorption bestämts med Cobb-apparat och jämförts med kända utgångsvärden. Mätning har skett även på den ej solbelysta baksidan.

Den asfaltimpregnerade, ånghärdade boarden visar ingen signifikant förändring på någondera sidan. För hård $1/8''$ kan iakttagas en liten ökning av absorptionen hos de solbelysta, uppåtvända sidorna men ingen hos skuggade, nedåtvända. Effekten kan emellertid bero på att temperaturväxlingar hos belyst sida förorsakat fuktväxlingar i materialet där, och detta kan antagas öka absorptionen.

7. VÄRMEBEHANDLING

I det inledande kapitlets avsnitt 'Tillverkning av träfiberskivor' omnämndes helt kort, att hård board efter pressningen värmebehandlas i het luft och konditioneras i fuktig luft. Denna till synes enkla process har medfört väldiga praktiska olägenheter i form av bränder, gas- och dammexplosioner, tjärbeläggningar, illaluktande gaser, korrosion samt utrymmeskrävande utrustning, som varit dyrbar i anskaffning, drift och underhåll.

Emellertid har behandlingen en mycket gynnsam inverkan på slutprodukts kvalitet, varför utrustningen för härdning och fuktkonditionering byggts ut mer och mer i boardfabrikerna. Apparaturen har förfinats i många avseenden, säkerhetskraven har höjts - brandförsäkringspremierna likaså ! - , men alltjämt inträffar årligen flera ordentliga bränder.

Den väsentliga processtekniska svårigheten ligger i de exoterma reaktioner som uppkommer i boarden vid värmebehandling i luft av 150 - 170 °C. För att autooxidationen ej skall leda till antändning, måste fiberarken kylas, vilket sker genom fläkteirkulation av atmosfären i härdningskammaren. Genom att denna samtidigt tillföres kall luft, kan temperaturen normalt hållas under kontroll. Men skulle cirkulationen upphöra av någon anledning eller hämmas lokalt p.gr. av defekter hos någon skiva, stiger temperaturen snabbt, och brand uppstår.

Eldsvådans förlopp blir ofta våldsamt. Varje härdningskammare innehåller några ton het och absolut torr board motsvarande omkring 1000 m² brännbar yta, och branden sprider sig lätt till närliggande kammare.

Om man kunde påskynda härdningsprocessen, skulle mängden board under behandling samt apparaturens storlek kunna reduceras. I viss mån kan detta ske genom tillsats av katalysatorer i fibermassan. Man använder vanligen aluminiumsulfat (liksom vid papperstillverkning), men om doseringen ökas över en viss gräns, påverkas boardens hållfasthet negativt. Järnsulfat har kraftigare katalytisk verkan men sänker antändningstemperaturen hos skivorna och försämrar deras kvalitet i speciella avseenden.

I frågor avseende härdningens kemiska reaktioner inklusive autooxidation har under årens lopp ett stort antal forskningsrapporter publicerats bl.a. av N. J. Ögland och E. Back i tidskrifterna Norsk Skogindustri och Svensk Pappers-tidning.

Med syftet att i första hand undvika brandriskerna vid härdning och i andra hand förkorta erforderlig behandlingstid föreslog författaren år 1951 att använda överhettad vattenånga eller annan syrefattig gas som behandlingsatmosfär, varvid temperaturen avsågs vara minst 180 °C, företrädesvis över 200 °C. Metoden provades driftmässigt med gott resultat vid fabriken för porös board i Hultsfred samt patenterades i Sverige / 51 / och utlandet.

Senare utförda försök att ånghärda hård board gav emellertid till en början dåliga och framförallt inkonsekventa resultat. Först efter ett mångårigt, kostnadskrävande forskningsarbete vid laboratoriet har sådana kompletterande process-tekniska uppfinningar och apparatkonstruktioner framkommit, att ånghärdningen kan tillämpas industriellt på all slags board. Den första nya anläggningen togs i drift vid Rockhammars Bruk 1965 och användes för härdning av asfaltimpregnerad board, som behandlas vid 260 °C. Fler kontinuerligt arbetande apparater är 1967 under projektering och konstruktion. Av allt att döma medger de utomordentliga besparingar i anläggningskostnad, platsbehov, värmeförbrukning (värmeväxling mellan inkommande och utgående ark) och manuellt arbete. Dessa frågor ligger emellertid utanför ämnet här liksom den kemiska effekten av härdning.

Under de senaste åren har Svenska Fläktfabriken utvecklat en alternativ metod att kontinuerligt härda board vid temperaturer över 200 °C. Behandlingen sker i luft, som genom munstycken påblåses boarden vinkelrätt mot ytorna och därmed effektivt avleder exotermt värme. Den erforderliga fläktenergien blir betydande och apparaten relativt komplicerad samt utrymmeskrävande. Ingen sådan anläggning finnes ännu i Sverige, men några apparater har kommit igång utomlands under 1967 och hittills fungerat bra, enligt uppgift. Brandrisken torde vara mindre än vid vanlig härdning, men svårigheter med tjärbeläggningar kan i vissa fall befaras.

Båda dessa metoder för högtemperaturhärdning ger boarden högre kvalitet än traditionell lufthärdning vid 165 °C. Det finnes anledning att diskutera dessa skillnader närmare eftersom de kan anses principiella.

Härtningsgraden

Erfarenheten visar, att behandlingstiden för att nå en viss härtningsgrad kan halveras om temperaturen ökas 13 - 15 °C. Med härtningsgrad menas vanligen, att boardens vattenabsorption nedbringats till en viss nivå. Om en kvalitet i vanliga fall kräver t.ex. 4 h vid 165 °C för att nå praktiskt minimal absorption vid bibehållen hållfasthet (den brukar avtaga vid förlängd härdning), blir motsvarande behandlingstid vid 210 °C bara 20 å 30 minuter. I praktiken innebär detta, att man vid högtemperaturhärdning alltid kan välja en optimal kombination av temperatur och tid, medan man vid 165 °C ej har tid att invänta full härtningseffekt hos vissa tröga kvaliteter. Likaså kan man enligt de nya metoderna forcera härtningen genom att höja temperaturen, när kapaciteten av någon anledning behöver ökas. Den kan t.o.m. fördubblas utan större avkall på kvalitet eller värmeekonomi.

Vid optimal härdning i 200 °C eller däröver erhålles board med markant lägre vattenabsorption och svällning än efter härdning i 165 °C oavsett hur länge denna drives. Ånghärdning erbjuder speciella möjligheter att driva härtningen ännu längre utan att boardens hållfasthet avtager. Gränsen för praktiskt möjlig härdning har alltså flyttats längre bort och utgöres nu av en sakta tilltagande sprödhet hos materialet.

Hygroskopisk effekt

Som framhållits i andra sammanhang medför värmebehandling redan vid måttligt höga temperaturer, t.ex. 150 °C, en reduktion av hygroskopiciteten hos trämaterial / 52 /. Effekten blir mer utpräglad ju kraftigare härtningen är. Högtemperaturhärdad board håller lägre fuktjämvikt och får mindre hygroskopiska förändringar

vid klimatväxlingar än vanliga skivor. Särskilt markant blir reduktionen om man sluttorkar och härdar porös board i överhettad ånga av ca 200 °C eftersom dylik board aldrig når högre temperatur än ca 150 °C ens vid grundlig torkning i traditionella rulltorkar. De normala fuktrörelserna i skivans plan kan därför reduceras med 30 %, medan ca 10 % är ett vanligt värde för hård board och 15 % för byggboard.

Avgasning

Högtemperaturhårdning medför en begränsad torrdestillation, vilken minskar gasavspaltningen om boarden vid senare tillfälle råkar i brand. Brandegenskaper-
na förbättras, vilket bekräftas av utförda prov enligt 'lådmetoden'. Skillnaden blir emellertid ganska liten eftersom den hårt härdade boardens lägre fuktjämvikt verkar i motsatt riktning. I vissa fall tycks särskilt lämpad board kunna förbättras tillräckligt för att uppfylla fordringarna i klass II. Undersökningar härom pågår.

Spänningsutjämning

Den intressantaste och värdefullaste effekten av hög behandlingstemperatur är nog den spänningsutjämning som uppkommer i pressad board. Sådan innehåller nämligen avsevärda inre spänningar eftersom fibrerna deformerats vid pressningen och fixerats i dessa lägen genom torkning. Därvid uppkomna fiberbindningar är alltså delvis utnyttjade internt för att hålla ihop arket, och endast resterande styrka är disponibel för att motstå externa belastningar.

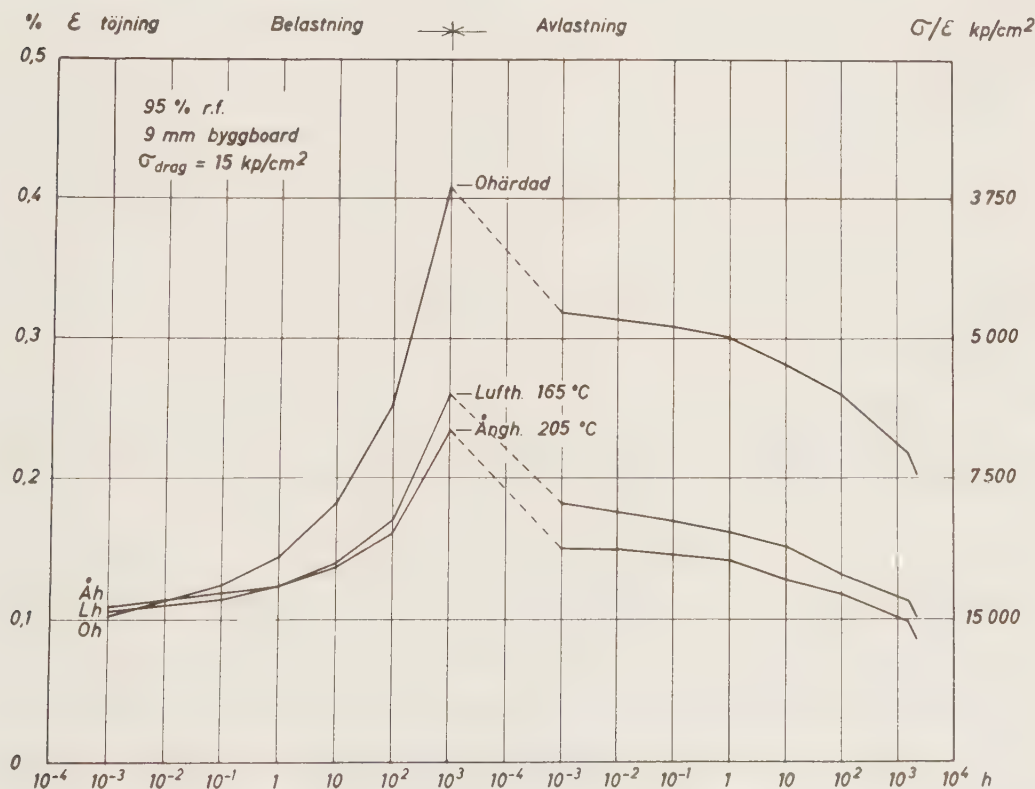
Emedan fibrerna successivt deformerar av varaktig spänning, kommer en spänningsrelaxation att ske, vilket sakta ökar skivans styrka. Effekten kan iakttagas som förbättrad tvärdraghållfasthet samt minskad tendens till kvarstående tjocklekssvällning (inre 'fiberresning') vid fuktcykler.

Om emellertid ett färdigpressat ark med intorkade spänningar uppvärms

till hög temperatur, där trämateriallets elasticitet börjar avtaga, utlöses spänningarna hastigare än genom relaxation vid rumstemperatur. Förloppet kan sägas motsvara s.k. 'spänningsglödning', som användes för att eliminera t.ex. svetsspänningar i tryckkärl.

'Spänningsglödad board' får redan vid fuktkonditioneringen i fabriken ovanligt liten tjocklekssvällning och bibehåller därför sin ursprungliga ytjämnhet bättre än annan. Även i fortsättningen blir ytstabiliteten utmärkt. Kvarstående dimensions- och formförändringar vid fuktcykler minskar. Tvärdraghållfastheten förbättras och därmed boardens bearbetbarhet, vilket särskilt märks vid sandputsning.

En annan intressant kvalitetsförbättring, som kanske mer beror av kemiska förändringar än fysikaliska effekter, gäller boardens krypning under långtidslast. Som framgår av figur 124 påverkas den momentana deformationen vid belastning



Figur 124

endast obetydligt av härdning. Däremot blir krypningen under långtidslast högst olika. Koefficienterna för diagrammets kurvor har beräknats i vanlig ordning samt motsvarande deformation efter 10^5 h (11,4 år) :

Värmebehandling	ϵ %	α	k	$\epsilon_{10^5 \text{ h}}$ %
Ohärdad	0,103	0,39	1,97	1,28
Lufthärdad 165 °C	0,106	0,14	2,17	0,83
Ånghärdad 205 °C	0,109	0,12	2,10	0,65

Härdning har, som synes, mycket gynnsam inverkan på långtidsdeformationen. Med ånghärdning har den halverats.

Motsvarande försök genomförda på U-plywood visar ingen effekt av värmebehandling vare sig vid kort eller lång belastningstid. Denna iakttagelse i kombination med den oförändrade korttidstojningen hos board koncentrerar intresset till fiberns egenskaper i tvärled och fiberbindningarnas fuktstabilitet. Där inverkar tydligen härdningen.

Ovanstående tabellvärden föranleder ytterligare en kommentar av stort intresse : Byggboard av god kvalitet värmebehandlad på lämpligt sätt är jämförbar med bra spånskivor vad gäller hållfasthet och långtidsdeformation även vid hög luftfuktighet. Deformationen 0,65 % efter 10^5 h är fördelaktigt låg, bara en tredjedel av motsvarande för de kvalitéter av byggboard och hård board som redovisats bland 'typskivorna'. Även vid jämförelse med oljehärdad board är $\epsilon = 0,65$ % ett bättre värde.

Denna undersökning visar med all tydlighet, att man f.närv. icke kan eller bör fixera några generella beräkningskoefficienter för så varierande material som board, troligen ej heller för spånskivor. De använda kvalitéterna måste åtminstone genomgå någon sorts typ-provning för bedömning av tendenser till krypning, varefter en rutinmässig korttids-test av det aktuella skiv-partiet skulle räcka. Alternativt kan några få speciella konstruktionskvalitéter med certifikat från löpande kvalitetskontroll

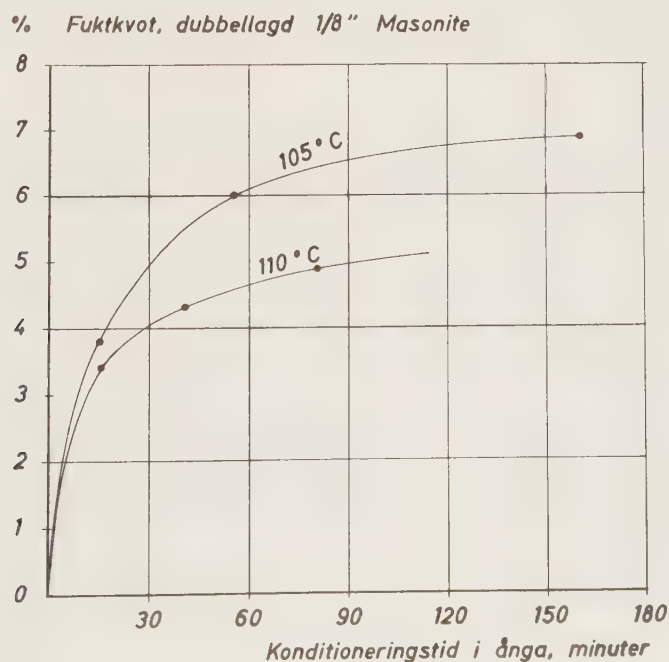
framtages vid ett begränsat antal fabriker.

Värmebehandling i överhettad ånga ger vissa speciella möjligheter, varav endast två exempel här kan omnämnas.

Tack vare den brandskyddande atmosfären kan oljor för impregnering av boarden väljas fritt. Den höga temperaturen ger möjlighet att utnyttja asfaltkvalitéer med hög mjukningspunkt. Även porös board kan impregneras, varvid stadiga skivor med hårda ytskikt erhålles. Impregneringar i andra syften är också möjliga att genomföra enligt patentsökta metoder.

Innan skivorna utmatas, sker kylning genom värmeväxling med kalla, inmatade ark. Temperaturen sänkes så långt, att de färdighärdade skivorna börjar absorbera fukt ur ångatmosfären (ett arrangemang förhindrar de inmatade arken från att göra detta). Absorptionen går mycket snabbt vid dessa temperaturer, varför erforderlig fuktkonditionering kan genomföras kontinuerligt i samma apparat som ånghärdningen. Figur 125 ger exempel på absorptionshastigheten hos dubbellagd 1/8" hård Masonite, som härdats vid hög temperatur och är väsentligt mindre hygroskopisk än board i allmänhet. Den snabba absorptionen utlöser mycket effektivt de spänningar som ännu kan finnas kvar efter härdningen, varför slutprodukten får överlägsen dimensionsstabilitet.

Figur 125



8. KVALITETSVARIATIONER

Alla provningsnormer och kvalitetsgarantier blir tämligen meningslösa utan klara regler för provtagning och bedömning av provningsresultat. Eftersom board, spånskivor och plywood är internationella handelsvaror, t.o.m. i högre grad än de flesta andra byggmaterial, har en allmänt accepterad standard för sampling och resultatvärdering länge varit önskvärd. ISO/TC 89 har också diskuterat olika förslag, däribland ett nordiskt alternativ, som f.övr. föreslagits bli norsk standard 1967.

Att här presentera förslagen vore att gå händelserna i förväg - den som önskar detaljerad information om det aktuella läget kan studera ISO/TC 89/SC 1/N 115 eller ev. motsvarande dokument för asbestcement-produkter "ISO Recommendation R 390" - men en kort redogörelse för principerna kan vara motiverad :

Reglerna för provtagning gäller endast enhetliga partier av skivor.

Ur sådant parti uttages slumpvis hela provskivor i ett antal som efter en fallande skala beror av partiets storlek. Är detta t.ex. 301 - 500 st skivor uttages 7 för provning, av 1301 - 3200 tages 20 st och av 22.001 - 111.000 st tages 35 för provning.

Varje provskiva tänkes helt uppdelad i kvadratiska provstycken med sidlängden = $1/4$ av skivans bredd. Slumpvis uttages 2 eller 3 sådana provstycken från varje provskiva.

Ur varje provstycke uttages sedan en provkropp för var egenskap som skall provas. En provskiva ger sålunda 2 eller 3 mätvärden per egenskap.

Bedömning av partiets provningsresultat sker genom jämförelse med givna gränsvärden i fastställda normer eller överenskommelser mellan parterna.

Beroende på egenskap kan sättas en övre, en undre eller både övre och undre gränsvärde (t.ex. absorption, böjhållfasthet respektive tjocklek).

En önskad kvalitetsnivå väljes, t.ex. att 10 % av skivorna får ligga utanför givna gräns.

Värderingen sker slutligen efter de s.k. attribut- eller variabel-metoderna. Den förstnämnda anger hur många av de uttagna skivorna som maximalt får vara underkända. Variabelmetoden ger en mer nyanserad bedömning grundad på iakttagen spridning och medelvärde av alla bestämningar. Vissa konstanter framräknas och jämföres med 'accepteringskoefficienter', som finnes tabellerade bl.a. i US Military Standard 414.

Dessa regler är i de flesta fall tillräckliga som grund för kvalitetsgarantier, t.ex. i handelsavtal, men i andra sammanhang kan man önska ytterligare upplysningar. Hur stora är kvalitetsvariationerna t.ex. inom en skiva ? Eller under ett års produktion vid en fabrik ? Mellan olika fabrikat ? Förekommer skivor med markant svaga partier motsvarande kvist-raderna i ett svarvat fanér ? En del spridda uppgifter härom har redan lämnats i tidigare kapitel, men en komplettering och sammanfattning är önskvärd. De värden som lämnas här nedan är normala för svensk board av god kvalitet, men naturligtvis förekommer stora avvikelser åt båda håll.

Spridning inom skiva

Kvalitetsvariationerna inom ett ark kan bero på varierande massamängd över ytan, men en vanligare orsak är skillnader i densitet p.gr. av olikformig pressning. Fjädring och termiska deformationer hos pressen samt tjockleksvariationer hos glans- och transportplåtar medför oplanhet. Ojämn lufthastighet och temperatur vid härdning kan också inverka på skivans slutliga egenskaper. Ökade krav på jämn tjocklek hos skivorna har tvingat fram förbättring av pressarnas formstabilitet och värmefördelning, vilket indirekt minskat variationerna även i boardens styrkeegenskaper. En norsk utredning påvisar pressbetingelsernas betydelse på ett instruktivt sätt / 53 /.

Enligt laboratoriets mätningar har variationskoefficienten (spridning i % av medelvärdet) inom enstaka skivor ungefär följande storlek :

Variationskoefficient % inom enstaka skivor :

Egenskap	Hård 1/8"	Porös 1/2"	Byggboard 1/2"
Tjocklek	3 - 5	1 - 3	2 - 4
Densitet	2 - 4	2	1 - 8
Vattenabs.	3 - 6	5 - 50	10 - 30
Svällning	6 - 9	2 - 4	10 - 15
Böjhållfasthet	5 - 9	3 - 25	10 - 20
Tvårdraghållf.	10 - 20	10 - 20	15 - 30
Ytjämnhet	15 - 25	--	--

I detta sammanhang bör påpekas, att mätvärden för egenskaperna vattenabsorption, svällning och ytjämnhet icke visar normalfördelning utan utpräglat sned fördelning. Detta sammanhänger med att en välskött tillverkningsprocess normalt ger värden i närheten av bästa möjliga, men att tillfälliga driftstörningar åstadkommer stora avvikelser i en riktning, alltid den ogynnsamma. Man kan grovt uttrycka saken så, att vattenabsorption normalt är 20 % men kan bli 60 % vid misslyckad härdning, däremot aldrig - 20 % vid extremt lyckad process. En kontrollräkning av några särskilt sneda fördelningar avseende vattenabsorption visar, att 8 - 10 % av proverna faller utanför den gräns som enligt vanlig spridningsräkning baserad på normalfördelning endast borde överskridas av 5 % . Detta förhållande måste observeras eftersom det påverkar resultatbedömningen vid partiprovning.

Lokala försvagningar kan i undantagsfall förekomma såsom nedsatt tvårdraghållfasthet. Detta beror på att skivan helt eller delvis spjälkats av inre ångtryck om presstrycket avlastats för tidigt, d.v.s. innan arket torkat ordentligt.

För att studera bl.a. inverkan av provkroppens bredd vid böjprovning har laboratoriet provat 1 cm breda remsor uttagna intill varandra i grupper om 7 st. Inom 5 sådana grupper tagna ur ett provstycke 1' x 4' erhöles som lägsta värde för enskild remsa 315 kp/cm² och högsta 420 kp/cm², en förbluffande liten skillnad om man betänker den ringa bredden. Utöver dessa 35 remsor togs 5 st böjprovkroppar med ordinarie bredd, 7,5 cm. Lägsta värde för dem blev 370 och högsta 395 kp/cm². Deras medelvärde låg 2 % högre än för de smala. (En styrkereducerande kanteffekt, mest betydelsefull för smala kroppar, har uppvägs av successivt

brott p.gr. av varierande brottöjning inom de bredare remsorna. Den sistnämnda effekten blir ibland mycket påtaglig och kan lätt studeras om böjprovningssapparatens är kopplad till en skrivare.)

Spridning mellan skivor tagna ur samma parti

En boardpress producerar ca 200 skivor/h. Inom en sådan tidrymd inträffar normalt inga större förändringar i tillverkningsprocessen. För att producera t.ex. 20.000 skivor åtgår ca 4 dygn. En sådan kvantitet kan fortfarande mycket väl anses vara ett enhetligt parti - ISO:s förslag om provtagning sträcker sig till partier om 550.000 skivor ! - , men under en tid av flera dygn kan mycket hända inom en fabrik. Råvaran kan ha förändrats, byte av glansplåtar i pressen och malskivor i defibrörer har sannolikt skett. Rimligen bör detta avsevärt öka kvalitetsvariationerna inom partiet. Å andra sidan kan det lilla partiet ha råkat tillkomma just vid någon förändring i driften.

Detta resonemang har förts i avsikt att påvisa svagheten i det stundom använda uttrycket 'spridning mellan skivor inom ett parti' samt redovisning av värden för sådan spridning. Begreppet 'parti' kan knappast definieras tillfredsställande annat än med direkt hänvisning till ett enda speciellt sådant. Möjligen skulle man kunna tala om spridning mellan skivor från samma press-omgång eller obrutet arbetsskift, men även det sistnämnda är tveksamt.

En helt annan sak är att fixera tillåtna gränser för ett parti. Den åtgärden kan både vara nödvändig och fullt klar i sina definitioner. Observera skillnaden.

Spridning inom en fabriks årsproduktion av samma boardsort

Den snabba utvecklingen inom boardindustrien föranleder, att kvalitétéerna avsevärt ändras ganska ofta, t.ex. vartannat år. Om man emellertid borträknar sådana systematiska förändringar, har spridningen mellan skivor under ett år ungefär följande storlek (angiven som variationskoefficient, %) vid välskött produktion :

Variationskoefficient % under ett års produktion av viss sort :

Egenskap	Hård 1/8"	Porös 1/2"	Byggboard 3/8" - 1/2"
Tjocklek	3	3	3
Densitet	2	6	10
Vattenabs.	21	-- *	30
Svällning	10	40 *	25
Böjhållfasthet	7	10	20
Tvårdraghållf.	13	20	20
Ytjämnhet	30	--	--

* Vattenabsorption och svällning hos porös board mätes efter 2 h doppning, men redan på så kort tid hinner skivorna ofta vattenfyllas.

Tabellens värden för byggboard är såtillvida osäkra, att någon 'normal' kvalitet ännu ej hunnit utvecklas och stabiliseras. De skilda fabrikaten är mycket olika i flera avseenden.

Spridning mellan fabrikat

Laboratoriets mångåriga rutinprovningar har av olika skäl ej omfattat alla fabrikat på den svenska marknaden (utländsk board har provats men i mindre omfattning), varför uppgifter om spridning mellan fabrikat ej kan lämnas. Om man begränsar fältet till större fabrikat med erkänt god och relativt jämn kvalitet, ligger årsmedelvärdena inom ungefär följande gränser angivna direkt i varje egenskaps normala sort :

Egenskap		Hård 1/8"	Porös 1/2"	Byggboard 3/8" - 1/2"
Tjocklek	mm	3,3 - 3,6	12,8 - 13,6	12,2 - 13,0 (9,0)
Densitet	g/cm ³	0,95 - 1,00	0,23 - 0,28	0,58 - 0,69
Vattenabs.	%	13 - 28	50 - 300	20 - 90
Svällning	%	7 - 19	3 - 12	5 - 19
Böjhållf.	kp/cm ²	320 - 450	16 - 34	85 - 170
Tvårdraghållf.	kp/cm ²	7 - 11	0,5 - 1,0	1,5 - 3,5
Ytjämnhet	ml/min	10 - 40	--	--

Trots snäva gränser för den porösa boardens densitet är hållfastheten mycket olika för skilda fabrikat, vilket beror på om skivorna är tillverkade av slipmassa (större styrka) eller defibratormassa.

Det hade varit önskvärt att presentera ytterligare uppgifter även om spånski-
vors kvalitetsvariationer utöver tidigare redovisade, men laboratoriets egna mät-
ningar har ej omfattat rutinmässig, löpande provning under långa perioder. Den
intresserade hänvisas därför dels till en redogörelse av D Noack / 45, kap. 7 / ,
som ägnat statistisk kvalitetskontroll särskilt intresse, dels till spånskivetill-
verkarnas egen rutinprovning.

9. TILLÄMPNING

I den löpande texten har redan lämnats några praktiska anvisningar, t.ex. beträffande infästning av balkliv i träflänsar, blötning av board före uppsättning, etc. Erfarenheten visar, att vissa andra mer komplexa problem ofta återkommer vid skivors användning som byggmaterial, och det kan vara skäl att utreda några av dem.

Buckling p.gr. av svällning.

Buckling hos monterade skivor beror antingen på välvning, vilket diskuterats under avsnittet 'Formstabilitet' i kapitel 4, eller också på knäckning i samband med fuktökning och svällning. Rörelser hos underlaget kan vara en tredje orsak, som dock lämnas därhän. Alternativet knäckning skall däremot granskas med utgångspunkt från en skiva, vars kanter fixerats mot ett orörligt underlag.

För skivan antages följande gälla

- t = skivans tjocklek i cm
- ℓ = skivans fria bredd i cm mellan de fixerade kanterna
- $\Delta \ell$ = skivans hygroskopiska svällning i breddriktningen om den varit fritt rörlig vid en viss uppfuktning
- E_t = skivans elasticitetsmodul i kp/cm^2 vid tryckspänning i skivans breddriktning
- E_b = skivans elasticitetsmodul i kp/cm^2 vid böjning

Om skivan ej knäcker ut vid uppfuktning, blir tryckspänningen i breddriktningen

$$\sigma = E_t \frac{\Delta \ell}{\ell} = E_t \cdot \epsilon$$

Om kanterna är fast inspända, blir knäcklasten

$$P = \frac{\pi^2 \cdot 4 \cdot E \cdot I}{\ell^2} \quad \text{kp/cm av skivans längdriktning}$$

Men $\sigma = P : t$, vilket ger $P = t \cdot E_t \cdot \varepsilon$; Genom insättning av detta uttryck i formeln för knäcklasten erhålles

$$t \cdot E_t \cdot \varepsilon = \frac{4 \pi^2 \cdot E_b \cdot I}{l^2}$$

Om skivor vore homogena, skulle E_t och E_b vara lika. P.gr. av större täthet i ytskikten blir emellertid E_b något större än E_t , för t.ex. byggboard ca 20 % högre, vilket visats i kapitel 5, avsnittet 'Deformation under korttidslast'. Antingen man beaktar denna skillnad eller ej, så kan E förkortas bort ur ekvationen.

Helt självklart är detta dock icke. De två bas-ekvationerna, tryckkraften p.gr. av svällning och knäcklasten, måste utvecklas parallellt under uppfuktningen. Detta innebär dels att uppfuktningen måste ske lugnt och likformigt i boarden (en häftig absorption drabbar först ytskikten och därmed böjstyvheten), dels att E_t och E_b har samma krypförlopp under den tid absorptionen pågår, vilket tidigare redovisade provningar i stort sett bekräftat. Om båda dessa villkor förutsättes uppfyllda, kan man föra beräkningen vidare. Man erhåller efter insättning av $1,2 E_t = E_b$ samt $I = t^3 : 12 \text{ cm}^4/\text{cm}$

$$12 \varepsilon \cdot l^2 = 4 \pi^2 \cdot 1,2 \cdot t^2$$

$$l = t \cdot \pi \sqrt{0,4 : \varepsilon} = 1,99 t : \sqrt{\varepsilon}$$

Man kan nu kalkylera den knäcksäkra fria bredden för olika tjocka skivor. Antag att svällningen i planet normalt är $\varepsilon = 0,0015$ och maximalt 0,003 :

Skivans tjocklek t cm	Knäcklängd cm	
	$\varepsilon = 0,0015$	$\varepsilon = 0,003$
0,3	15	11
0,6	30	22
0,9	46	33
1,2	61	44

Den principiella kontentan av bucklingsberäkningen blir :

- a/ Den bucklingssäkra bredden är direkt proportionell mot skivans tjocklek.
- b/ Den bucklingssäkra bredden är omvänt proportionell mot kvadratroten ur svällningen i breddriktningen.
- c/ Den bucklingssäkra bredden är oberoende av skivans elasticitetsmodul men ökar om ytskikten är hårdare än mittskiktet.

Renodlade försök har bekräftat teorien men också påvisat stark inverkan av vissa faktorer som ibland förekommer i praktiken : Oliksidig uppfuktning, t.ex. av regnpåslag, medför genast välvning och försämrad knäckstyvhet. Oplant underlag för kanternas infästning, t.ex. vresiga reglar, initierar knäckning. Risken för buckling reduceras däremot avsevärt om små fuktrörelser kan upptagas vid fogarna.

Det naturliga sättet att motverka buckling är att förhindra ökning av boardens fuktkvot efter monteringen. Om boarden fuktas grundligt under något dygn före uppsättningen, utsättes den för krympkrafter, d.v.s. dragspänningar, vid torkning och håller sig plan.

Så småningom uppkommer emellertid spänningsrelaxation, d.v.s. en minskning av dragpåkänningen. Den kvarvarande förmågan att tämligen snabbt återfjädra räcker ej längre till för att utjämna en måttlig men relativt hastig uppfuktning. I så fall kan buckling trots allt inträffa vid lägre fuktighet än vid monteringen.

Detta resonemang innebär en varning för snabba fuktväxlingar, t.ex. i samband med utkylning av en normalt uppvärmd och torr byggnad, eller vice versa såsom i sportstugor vintertid. Målning av boarden inverkar fördröjande på sorptionen och är alltså till fördel både inom- och utomhus.

Likaså blir bucklingsrisken mindre hos väl värmebehandlad board ty dess spänningsrelaxation går väsentligt långsammare, d.v.s. dess elastiska spänst står sig bättre.

Boardens buckling sker med stor konsekvens. På uppdrag av Sv. Wallboard-föreningen och enskilda boardindustrier har laboratoriet provat flera hundra kvadratmeter board av skilda sorter och med olika monterings teknik utomhus. Tyvärr

skulle det föra för långt att här redovisa de i och för sig intressanta resultaten - en del av erfarenheterna finns rapporterade i / 12 / - , men huvudpunkterna är :

Hård, väl värmebehandlad board av tjockleken $3/16'' - 1/4''$ samt byggboard är normalt lämpligast. Oljehärdning innebär ingen större fördel.

Hård board skall blötas under två dygn före monteringen, som sker med virasidan vänd utåt. Byggboard sättes med slätsidan synlig.

Det är överflödigt med hel panel bakom skivorna. En gles panel eller regler c/c 40 - 60 cm ger tillräckligt underlag.

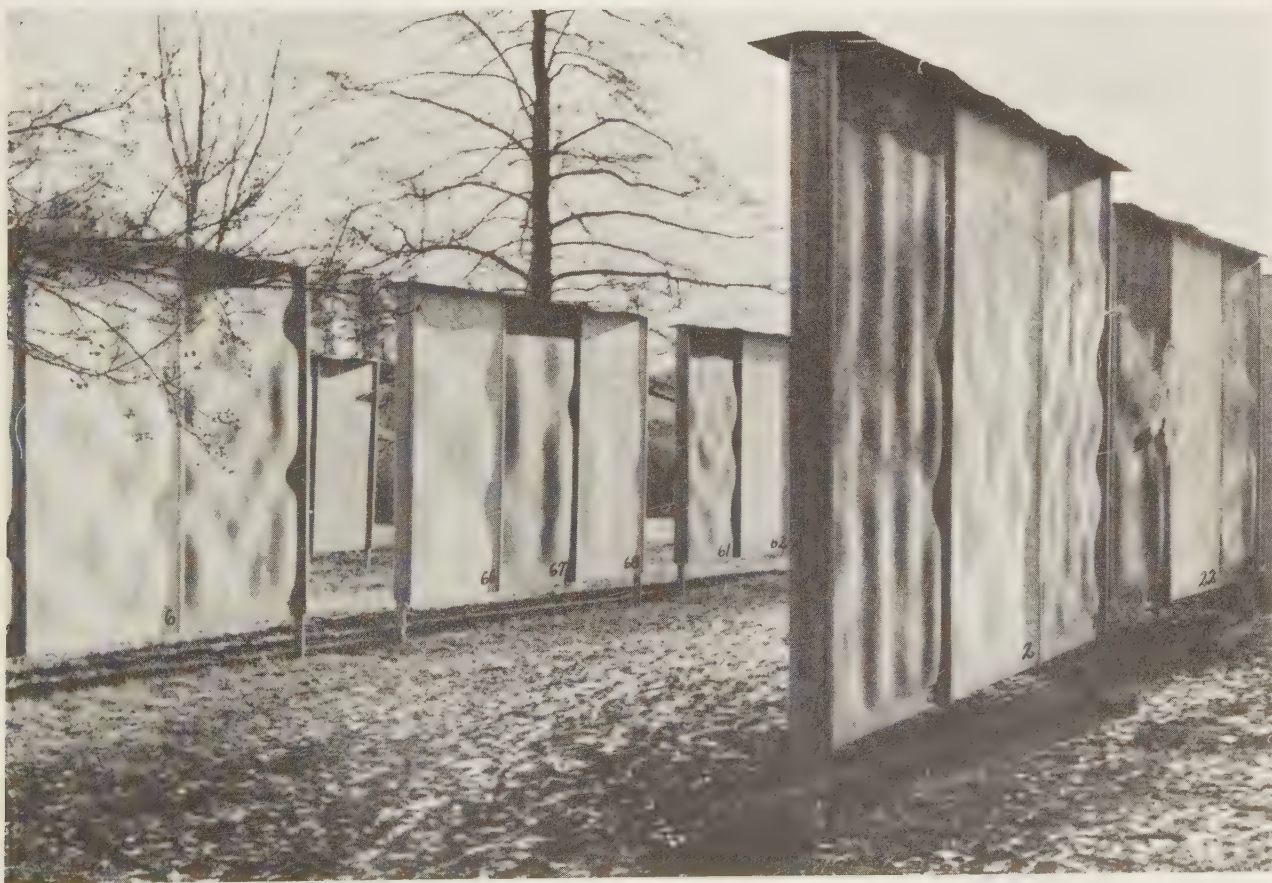
Spikning bör ske med 35 mm skallspik, rostfri, förzinkad eller av aluminium.

Spikavståndet vid kanterna bör ej överstiga c/c 7 - 10 cm.

Nederkanten skall absolut utföras med några cm droppnäsa och luftad baksida.

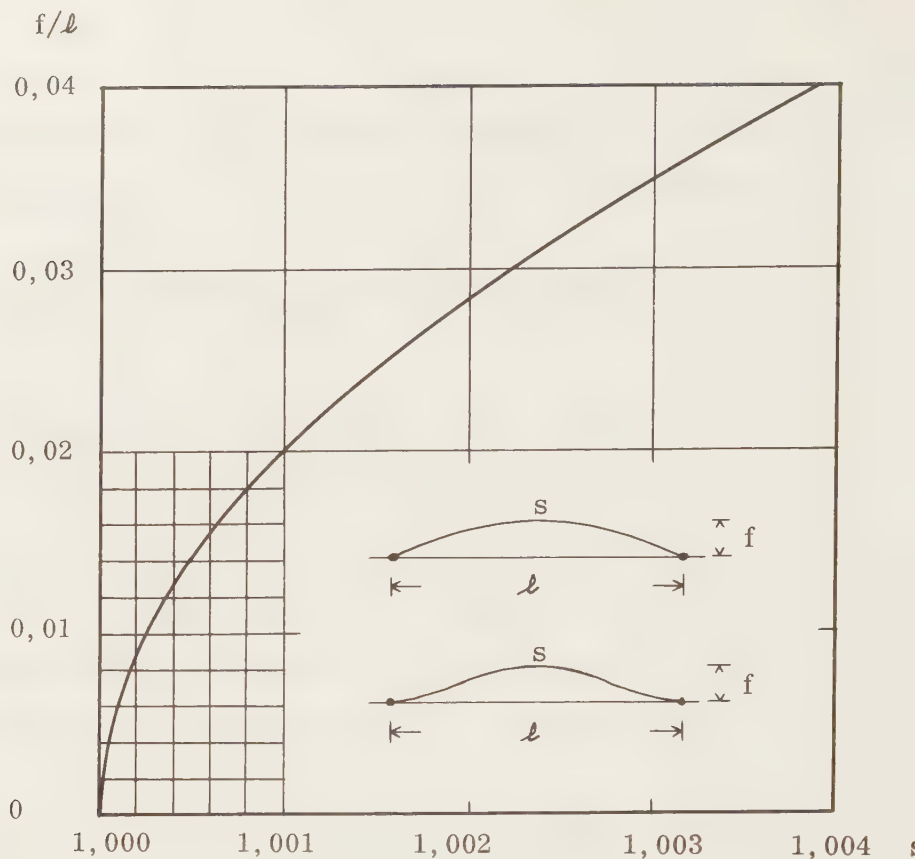
De flesta utomhusfärger av goda fabrikat och avsedda för trä lämpar sig bra.

Figur 126 visar board på skärmar utomhus i januari 1957. Olämplig monterings teknik medför ofelbart buckling under vinterhalvåret, men full planhet återvinnes varje sommar.



Figur 126

Figur 127
Samband mellan
svällning och
utbuckling.



Fogutformning

I kapitel 5, avsnittet 'Mekanisk inverkan av fuktförändringar', diskuteras de dragspänningar som uppkommer vid monterade skivors torkning. I svåra fall kan fogar mellan skivor tydligen utsättas för 15 - 20 kp/cm foglängd. Icke ens mycket tät spikning förmår hindra betydande fogrörelser vid så stora krafter. Målning erhåller synliga sprickor redan vid 0,2 mm rörelse, och tapeter spricker efter 0,5 - 0,8 mm töjning vid normal klistring.

Orörliga fogar kan erhållas genom limning av boarden, vars kant fasas med särskild hyvel och sedan limspikas. Principen är densamma som för kilformad infästning av balkliv. Tjocka skivor kan kantfräsas för limmad fog 'halvt i halvt'. Om haket göres 2 cm brett, blir varje skivas effektiva bredd $122 - 2 = 120$ cm, vilket passar bättre som modul än 4'. Skjuvspänningen i fogen blir hög, varför arbetet måste utföras med omsorg.

Alternativt kan orörliga fogar inomhus åstadkommas genom att den väl fuktade

boarden först spikas på plats, varefter fogspringorna noggrant ispacklas, när rummet är färdigt för målning och tapetsering. Över fogarna limmas då 7 cm breda remsor av glasväv, som ev. utspacklas, varefter ytbehandlingen sker. Denna teknik ställer emellertid mycket stora krav på spacklet, som absolut måste ha mycket liten krympning, helst mindre än vanligt sandspackel. Om fogen kan stukas ihop bara 0,1 mm vid en ev. senare fuktökning i rummet, uppkommer nämligen en ful valk eller ett 'nyp' i tapeten.

Det är nästan omöjligt att åstadkomma fogar som förblir orörliga utomhus. Skulle man lyckas, så har man samtidigt ökat risken för skivornas buckling. Det är principiellt riktigare att eftersträva en elastiskt rörlig fog eller ev. en fritt rörlig. Relativt tät spikning med klen spik av lämplig längd ger elastiska förband. Grov spik på större c/c-avstånd arbetar sönder skivan förr eller senare.

Laboratoriet utvecklade en 'dubbelskallespik' avsedd att ge fritt rörlig infästning av $1/8'' - 1/4''$ hård board, se figur 128. Spikens första skalle stansar ut ett hål i boarden, vilket ger denna rörelsemöjlighet i alla riktningar. Den andra, större skallen täcker hålet och håller skivan. Metoden har fungerat bra vid långtidsprov med hela skivor monterade på skärmar utomhus, men helst vill man slippa synlig spikning och föredrager fogning med täckande läkt e.dyl.



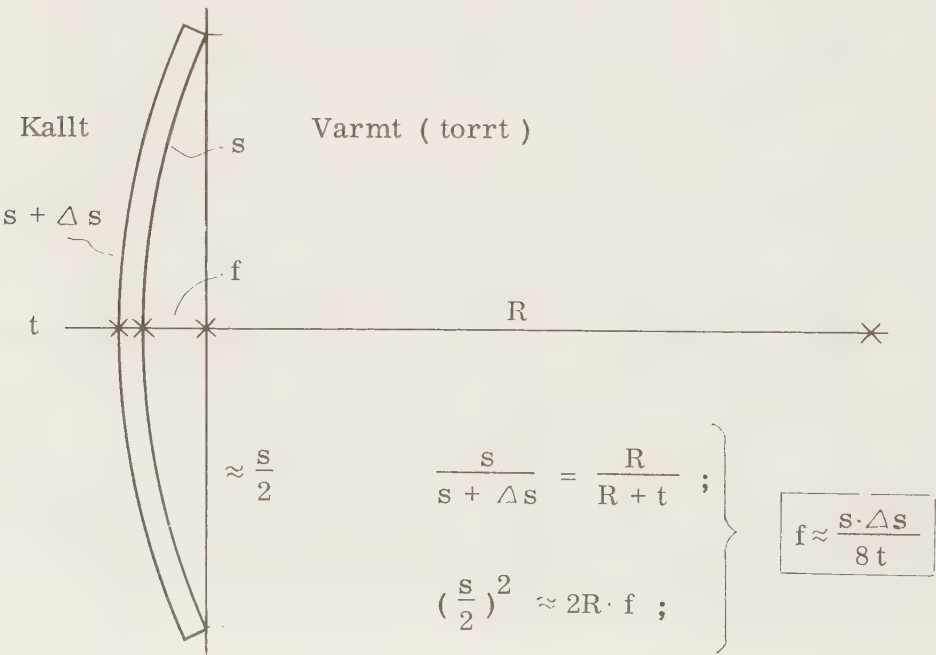
Figur 128

Välvning vid oliksidigt klimat

En ofta förbisedd effekt av oliksidigt klimat är välvning hos byggnadselement. Gemene man observerar den kanske bara som 'skevhet' hos skafferi-dörrar samt svårstängda ytterdörrar. Båda har blivit konvexa på den kalla si-dan och konkava på den varma, torra. I princip detsamma händer emellertid med ytterväggar och bjälklag över kalla utrymmen, och välvningen blir kraf-tigare hos moderna, välisolerade element med ytskikt av skivor än hos gammal-dags träkonstruktioner.

Man hör ibland den åsikten, att välvning skulle kunna förhindras om elemen-tet ifråga gavs en ordentlig diffusionsspärr på varma sidan, eller i varje fall om det inneslöts helt av diffusionstätt material. Detta är naturligtvis felaktigt, även om en tätning på insidan ibland kan vara till begränsad fördel. P.gr. av oliksidig temperatur, som är den primära orsaken, kommer ångtrycket och därmed r.f. att variera inom blocket, vars egen fukt fördelas osymmetriskt. Om endast luft-fuktigheten på blockets sidor är olika, kan inverkan härav dämpas genom tät yt-beläggning, men om en relativt varaktig temperaturdifferens förefinnes, är välv-ningen svårare att förhindra.

Välvningens storlek kan lätt kalkyleras / 54 / om man känner den hygro-skopiska effekten av rådande klimatskillnad, Δs i beräkningen nedan :



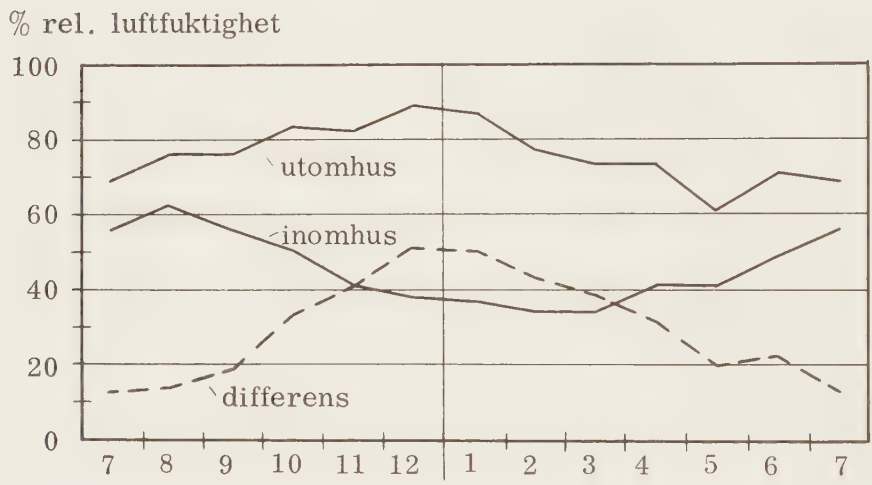
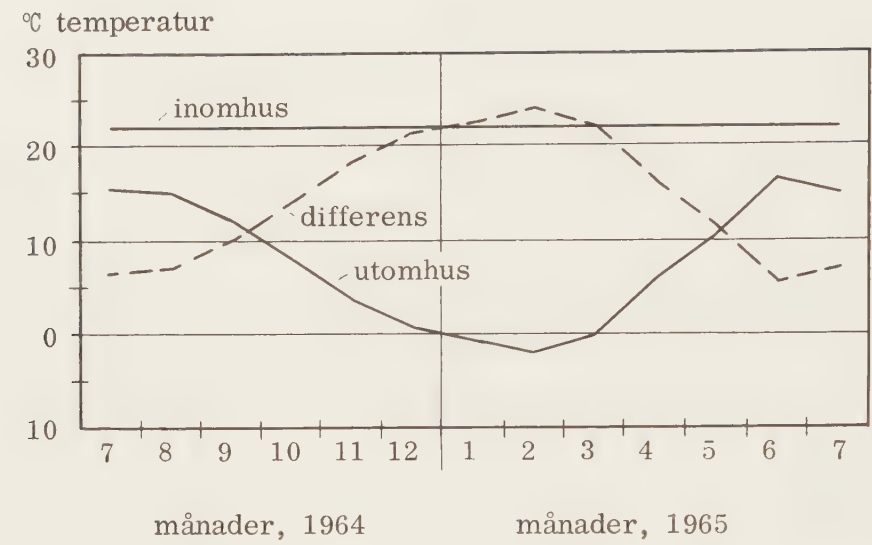
Figur 129

Några beräkningsexempel baserade på fuktrörelsen 0,2 %.

Väggar	$s = 250 \text{ cm}$	Bjälklagsblock	$s = 500 \text{ cm}$
	$\Delta s = 0,5 \text{ cm}$		$\Delta s = 1 \text{ cm}$
	$t = 10 \text{ cm}$		$t = 20 \text{ cm}$
	$f = 1,6 \text{ cm}$		$f = 3,1 \text{ cm}$

När ytterväggarna vintertid välver sig utåt, uppstår sprickor vid anslutande innerväggar om blocken ej är ordentligt förankrade i varandra. Dessutom kan svårigheter uppstå vid ömtåligare fönsterkonstruktioner. Vältning hos bjälklagsblock över kalla utrymmen är till allvarligare nackdel eftersom deformationen adderas till nedböjning av egen vikt och nyttig last. Som motverkande åtgärd kan värmeisolering placeras på den bärande konstruktionens undersida, och ev. kan blocken byggas kontinuerliga över flera stöd, men i så fall måste de extra spänningar beaktas, som mothållna fuktrörelser förorsakar.

De klimatiska undersökningar som presenterats i kapitel 2 har givit upphov till ett nytt, patentsökt sätt att behärska vältning p.gr. av oliksidigt klimat / 55 /. Man kan nämligen visa, att storleken hos temperaturdifferensen mellan inomhus- och utomhusklimat ganska väl följer skillnaden i relativ luftfuktighet, se figur 130. Detta samspel kan utnyttjas i princip så, att en metallarmering placeras invid elementets utsida, och när denna vintertid avkyles, krymper armeringen och motverkar den hygroskopiska vältningen. Lämpligen användes som armering ett material med stor termisk längdutvidgning, t.ex. rostfritt stål eller aluminium. Erforderlig armeringsarea har kalkylerats, provelement har tillverkats och försök har bekräftat att en fullt tillfredsställande utbalansering kan erhållas. I en variant har metoden tillämpats i industriell skala på ytterdörrar, som visat sig behålla god planhet året runt.



Figur 130

Skillnad i klimat inom- och utomhus, Nyköping

SAMMANFATTNING

Ännu för 20 år sedan byggdes de flesta svenska trähus med väggar av flerdubbla lager spontat virke. Men stigande virkespriser drev fram träbesparande konstruktioner, och vid återuppbyggnaden efter Surte-katastrofen 1950 fick lätta väggelement i regelverkskonstruktion sitt genombrott, dock bestod ytskikten fortfarande av brädpaneler.

Sedan dess har board- och spånskiveindustrin målmedvetet utvecklat ett brett sortiment av förstklassiga skivor, som är billiga och mångsidigt användbara inom modernt elementbyggeri.

Emellertid inverkar fuktväxlingar och långvariga belastningar på skivornas dimensioner och hållfasthet, och detta har medfört en känsla av osäkerhet bland konsumenterna samt ibland reella svårigheter, som fördröjt utvecklingen.

För att komma tillrätta med problemen har nu genomförts studier avseende bl.a.

Klimatiska förhållanden utomhus och i olika typer av lokaler.

Motsvarande fuktvariationer hos plywood, spånskivor och olika boardsorter.

Reversibla och irreversibla fuktrörelser hos dessa skivmaterial.

Hållfasthet och deformation hos skivor utsatta för kort- och långtidslast vid olika grad av fuktighet.

Övriga egenskaper av byggnadstekniskt intresse hos dessa skivor.

Kvalitetsvariationer hos marknadsförda träfiberskivor.

I samband med undersökningarna har metoder för provning diskuterats ingående. Utredningens resultat föres fram till förslag betr. dimensionering av skivor i bärande element. Några i praktiken ofta återkommande hygroskopiska problem analyseras.

L I T T E R A T U R F Ö R T E C K N I N G

1. Pappersmassedeförbundet : 'Boardboken'. 1961, Stockholm.
2. Defibrator AB : 'Fiberboard Industry and Trade'. 1965, Stockholm.
3. Löfgren G : 'Avsättningsförhållandena för fiberboard'. Svensk Pappers-tidning nr 10/1958, Stockholm.
4. Lundgren Å : 'Fiberblock - ett nytt byggnadsmaterial för småhus'. Byggmästaren nr B9/1959, Stockholm.
5. Alvång F och Johansson S : 'Modern developments in Treetex Fibreboards'. Festskrift tillägnad Carl Kempe. 1964, Uppsala.
6. Dito. Forest Products Journal, 8/1965 (s 335 - 340). Madison. Wis.
7. Carlsson A : 'Fukt- och rötskador i källarlösa trähus'. Byggforskningen. Informationsblad 1964:17. Stockholm.
8. Victorin G : 'Undersökning av fuktvariationer för träkonstruktioner i vinds-utrymmen'. Byggmästaren nr 8/1959. Stockholm.
9. Statens Institut för Byggnadsforskning : 'Fuktmätningar i trähus'. Informationsblad 1966:10. Stockholm.
10. Hearle J och Peters R : 'Moisture in Textiles'. The Textile Institute. Manchester and London 1960.
11. Aune P : Kompendium 'Trekonstruksjoner'. Forelesningar NTH 1965. Trondheim.
12. Bengtson K och Lundgren Å : 'Träfiberskivor som utvändig beklädnad'. Byggmästaren nr 12B/1955 och 12/1963. Stockholm.

13. Holmgren B : 'Vorschlag zur Bestimmung der Wasseraufnahme bei Holz-faserplatten'. Holz als Roh- und Werkstoff 6/1957 (s 252 - 254) . Springer Verlag.
14. Österberg L, Brauns O och Back E : 'Enkelsidig vatten- och oljeabsorption hos hårda fiberskivor'. Svensk Papperstidning 19/1960, Stockholm.
15. Kollmann F : 'Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe'. Band I. 1951, Springer Verlag.
16. Lundgren Å : 'Die hygroskopischen Eigenschaften von Holzfaserplatten'. Holz als Roh- und Werkstoff. Nr 4/1958 (s 122 - 127), Springer Verlag.
17. Linderot J : 'Fiber och fuktighet'. Kompendium från Sv. Textilforskningsinstitutet. 1952, Göteborg.
18. Noack D : 'Einfluss der Probenabmessungen auf die Bestimmung der Quellmess von Holz'. Holz als Roh- und Werkstoff. Nr 5/1964 (s 174 - 182), Springer Verlag.
19. Ögland N J : 'Hårda träfiberskivors svällning och krympning'. Svensk Papperstidning nr 16/1948 och 6/1949, Stockholm.
20. Lundgren Å : 'The Conditioning of Hardboard and Insulating Board before use'. FAO. Geneva 1957.
21. Lundgren Å : 'Fachgerechte Anwendung von Faserplatten im Bauwesen'. Holzforschung und Holzverwertung nr 4/1959, Wien.
22. Lundgren Å : 'Conditioning Fibreboard before Use'. Timber Technology, May 1957, London.
23. FAO : 'Developments in Test Methods for Fibreboard and Particle Board'. FAO/59/4/2321, Rome.

24. Fickler H : 'Der Stand der Entwicklung von Prüfungsrichtlinien für die Eigenschaften von Holzfaserplatten'. Svensk Papperstidning nr 5/1952, Stockholm.
25. Lundgren Å : 'Ergibt die Biegeprüfung der Holzfaserplatten richtige Werte ?'. Holzforschung und Holzverwertung nr 11/1959, Wien.
26. Sharman C F : 'A bending strength tester for semi-rigid sheet material'. Paper Technology nr 3/1964, London.
27. Post P W : 'A Flexure Testing Machine and Method'. Materials research and standards, 5 (1965) :2, s 64. US.
28. Norén B : 'Svensk Furuplywood'. Statens råd för byggnadsforskning. Handlingar nr 45. 1964, Stockholm.
29. Kollmann F och Krech H : 'Querzugfestigkeit und Scherfestigkeit von Holzfaser-Hartplatten. Holz als Roh- und Werkstoff nr 8/1959, Springer Verlag.
30. Lundgren Å : Sv. patent 140019 (1949). 'Konstruktionselement bestående av en balk med flänsar av trä och livet av fiberplatta'.
31. Granum H : 'Spikerlimte trekonstruksjoner'. Teknisk Ukeblad nr 33/1954, Oslo.
32. Lundgren Å : Sv. patent 180067 (1957). 'Isärtagbar låda' samt sv. patentans. 11136/55. 'Sammanfogning av fiberskivor'.
33. Svenska Teknologföreningen, kurskompendium. 'Träaktuella frågor i byggfacket'. 1955, Stockholm.
34. Larsson G och Wästlund G : 'Plywood som konstruktionsmaterial'. Statens Kommitté för Byggnadsforskning. Meddelande nr 21/1953, Stockholm.
35. Terent'ev V Ja : 'Einfluss der Feuchtigkeit auf die Eigenschaften von Holzfaserplatten'. 1965. Referat i Holz als Roh- und Werkstoff nr 1/1966 (s 37). Springer Verlag.

36. Kollmann F : 'Über die Abhängigkeit einigen mechanischen Eigenschaften der Hölzer von der Zeit, von Kerben und von der Temperatur'. Holz als Roh- und Werkstoff nr 7/1952, Springer Verlag.
37. Larsson G : 'Några hållfasthetsprov på plywood samt hårda och härdade träfiberskivor'. Byggmästaren nr B3/1956, Stockholm.
38. Lundgren Å : 'Träfiberskivor som konstruktionsmaterial'. Svensk Pappers-tidning nr 9/1956, Stockholm.
39. Lundgren Å : 'Holzfaserplatten als Konstruktionsmaterial - ein viskos-elastischer Körper'. Holz als Roh- und Werkstoff nr 1/1957, Springer Verlag.
40. Kollmann F och Dosoudil A : 'Holzfaserplatten, Ihre Eigenschaften und Prüfung, mit besonderer Berücksichtigung der Dauerfestigkeit'. VDI-Forschungsheft 426. 1949, Düsseldorf.
41. Karlholms AB : 'Bearbeta board bättre och billigare'. Tidskriften TRÄ nr 8/1962, Stockholm.
42. Karlholms AB : 'Ekonomiskt skärverktyg för board'. Svensk Snickeri-tidskrift Träförädlingen nr 16/1967, Stockholm.
43. Scandinavien Pulp, Paper and Board, Testing Committee : 'Ytråhet hos papper och papp, bestämd med Bendtsenapparat'. SCAN-P 21:67. Svensk Papperstidning nr 20/1967, Stockholm.
44. Lundgren Å : 'Das Bendtsen Prüfgerät für Holzfaser-Hartplatten'. Holz als Roh- und Werkstoff nr 3/1959 (s 98 - 102). Springer Verlag.
45. Kollmann F : 'Holzspanwerkstoffe'. 1966, Springer Verlag.
46. Schulze B : 'Vergleichende Untersuchung von Leichtbauplatten und anderen Dämmstoffen auf Fäulnis-, Schimmel- und Insektenbeständigkeit'. Holz als Roh- und Werkstoff nr 11 och 12/1940, Springer Verlag.

47. Allander M och Broniatowsky A : 'Eldskyddsbehandling av träfiberplattor'. Wallboardindustriens Centrallaboratorium. Meddelande 12 B. 1954, Stockholm.
48. Helge K : 'Oversikt over brannhindrende midler samt prøvemeter av intresse for wallboardindustrien'. Papirindustriens Forskningsinstitut. 1954, Oslo.
49. Statens Provningsanstalt, Meddelande 123 : 'Flamspridning hos ytbeklædnadsmaterial'. 1958, Stockholm.
50. ASTM, Special Technical Publication No 385 : 'Moisture in Materials in Relation to Fire Tests'. 1965, Philadelphia.
51. Lundgren Å : Svenska patenten 181887 194193 186400 188538.
52. Thunell B och Elken E : 'Värmebehandling av trä för minskning av svällning och krympning'. Svenska Träforskningsinstitutet, Trätekniska avdelningen. Meddelande 18. 1948, Stockholm.
53. Helge K och Krogstad K : 'Forskningsarbeider utført ved Papirindustriens Forskningsinstitut over fremstilling og kvalitetsbedømmelse av hårda wallboardplater'. Meddelande 67 från Papirindustriens Forskningsinstitut. 1955, Oslo.
54. Lundgren Å : 'Fiberskivor, spånskivor och plywood - några jämförelser'. Svensk Papperstidning nr 16/1960, Stockholm.
55. Lundgren Å : Sv patentansökan 15779/66.

Under hösten 1967 har i Sverige blivit tillgänglig :

56. Lampert H : 'Faserplatten'. 1966, Leipzig.

TILLÄGG OCH RÄTTELSE

Sid Rad Fig

164 25 Älghuvuden utbytes mot hatthyllor.

173 13 - 18 I moderna handledningar för dimensionering av plywoodbalkar (t.ex. 'Träbalkar med Plywoodliv'. Statens Lantbruksbyggnadsförsök, Meddelande nr 200, 1965, Lund) insättes $E_{trä} = 100\,000 \text{ kp/cm}^2$ vid beräkning av nedböjning orsakad av moment. För deformation av skjuvning göres ett påslag med 25 % av nyssnämnda nedböjning. Dessa värden kan ej motsvara långtidsbelastning, icke ens om diagonalplywood användes.

209 1 - 7 Tabellens värden avser ϵ_{brott} hos normala kvalitéer efter långtidslast med låg påkänning. För typskivorna bör räknas med lägre värden :

	Inomhus	Utomhus
U-plywood 7 mm 0/90 ⁰	$\approx 0,5 \%$	$\approx 0,5 \%$
Spånskiva 10 mm	0,3	0,3
Byggboard 12 mm	0,9	1,1
Hård board 1/4"	0,4	0,5
Oljehärdad 1/4"	0,4	0,5

251 14 - 25 Enl. handboken Bygg är den termiska längdutvidgningskoefficienten för furuvirke $0,5 \cdot 10^{-5}$ längs fibrerna och $3,4 \cdot 10^{-5}$ tvärs fibrerna. Vid laboratoriet har uppmätts $0,6 \cdot 10^{-5}$ för furu längs fibrerna och $1,0 \cdot 10^{-5}$ för hård board i skivans plan. Som jämförelse kan nämnas $2,5 \cdot 10^{-5}$ för rostfritt stål och aluminium.

